

## ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ И ЛЕКАРСТВЕННОГО РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ (ТРАВЫ ГОРЦА ПТИЧЬЕГО И ЛИСТЬЕВ ПОДОРОЖНИКА БОЛЬШОГО) ПО СОДЕРЖАНИЮ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ГОРОДЕ ВОРОНЕЖЕ И ЕГО ОКРЕСТНОСТЯХ

Н. А. Великанова, С. П. Гапонов, А. И. Сливкин

*Воронежский государственный университет*

Поступила в редакцию 18.04.2012 г.

**Аннотация.** Методом атомно-абсорбционной спектрометрии проведены анализы на содержание тяжелых металлов образцов верхних слоев почв, отобранных на 10 разных с точки зрения антропогенного воздействия территориях города Воронежа и его окрестностей, и лекарственного растительного сырья подорожника большого (*Plantago major*) и горца птичьего (*Polygonum aviculare*). На основании полученных данных проведена статистическая обработка путем подсчета коэффициента ранговой корреляции Спирмена, на основании которой определена взаимосвязь содержания тяжелых металлов в почве и в лекарственном растительном сырье подорожника большого и горца птичьего.

**Ключевые слова:** Подорожник большой, горец птичий, атомно-абсорбционная спектрометрия, тяжелые металлы, коэффициент ранговой корреляции Спирмена.

**Abstract.** Analyses of heavy metals contained in the upper soil levels and medical plants raw of *Plantago major* and *Polygonum aviculare* in 10 different points of Voronezh city and its suburbs were studied using the method of atomic absorption spectrometry. Correlations of contents of heavy metals in the soil and in medical plants raw of plantain and knotgrass were determined by Spearman index of cograduation.

**Keywords:** *Plantago major*, *Polygonum aviculare*, atomic absorption spectrometry, heavy metals, Spearman index of cograduation.

Урбанизация — одна из основных социально-экологических проблем нашего времени. В процессе становления города формируется новая антропогенная среда со специфическими чертами техногенного влияния. Нарастающее техногенное воздействие на урбосистемы со стороны промышленных комплексов, а также ТЭЦ, автотранспорта приводит к сильному загрязнению почв вредными веществами, снижению способности к самовосстановлению почв и деградации растительности. Токсиканты сравнительно быстро накапливаются в почвах городов и крайне медленно из них выводятся [1, 2].

Мигрируя по пищевым цепям, микроэлементы могут накапливаться в органах и тканях растительных и животных организмов в токсичных концентрациях. Это обстоятельство необходимо учитывать, так как в урбосистемах конечным звеном трофической цепи является человек. Сельскохозяйственная продукция и промышленные объекты с превышением уровня ПДК микроэлементов могут оказаться опасными для здоровья человека при

использовании их в пищу и в качестве сырья для изготовления медицинских препаратов [3, 4].

Цель настоящего исследования — изучение содержания наиболее токсичных тяжелых металлов в верхних слоях почвы и в растениях, на них произрастающих, в городе Воронеже и его окрестностях. Были выбраны 10 мест сбора образцов почв и лекарственного растительного сырья, разнообразных в экологическом плане: химическое предприятие ООО «ГСИ-Гипрокаучук», теплоэлектроцентраль ВогрЭС, Нововоронежская атомная электростанция, железнодорожные пути сообщения, аэропорт «Чертовицкое», трасса М4, улица города, линии электропередач, водохранилище города и в качестве сравнения — заповедная зона. В качестве растительных объектов исследования использованы подорожник большой (*Plantago major*) и горец птичий (*Polygonum aviculare*). Данные виды характеризуются широтой географического распространения, преимущественно семенным размножением, и средообразующей способностью. Это наиболее характерные представители как естественных растительных сообществ, так и урбанофлоры и синантропной растительности. К тому же

эти виды используются в качестве лекарственного растительного сырья в медицине и фармации. Сбор листьев подорожника большого и травы горца птичьего осуществляется преимущественно от дикорастущих растений, которые испытывают на себе влияние всего многообразия экологических факторов, в том числе и техногенного загрязнения. Из-за роста города Воронежа, увеличения количества автотранспорта, расширения производственных площадей вероятность заготовки лекарственного растительного сырья вблизи источников выброса поллютантов возрастает. В связи с этим в задачу входило выяснение влияния антропогенного загрязнения на состав данных лекарственных растений в городе Воронеже и его окрестностях и выявление наиболее экологически неблагоприятных районов указанной территории.

Валовое содержание тяжелых металлов в верхних горизонтах почв и в растениях определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии на приборе «ААС Квант-2А» по стандартным методикам [5, 6]. Результаты количественного определения тяжелых металлов в образцах почв приведены в табл. 1.

Анализ табл. 1 показывает, что в 5 из 10 отобранных образцов почв превышены предельно

допустимые концентрации тяжелых металлов. К экологически неблагоприятным относятся почвы из следующих мест отбора образцов: вдоль железнодорожных путей сообщения (превышено содержание цинка, меди, кадмия), улица Димитрова (превышено содержание цинка), вдоль Московской трассы (превышено содержание мышьяка), вблизи ТЭС «Вогресс» (превышено содержание мышьяка), международный аэропорт Чертовицкое (превышено содержание свинца, ртути), вдоль электросетей (превышено содержание никеля и мышьяка). Особенно стоит обратить внимание на превышение допустимых концентрации в почве таких элементов, как ртуть, свинец, кадмий, мышьяк, так как содержание этих металлов нормируется в большинстве продуктов питания, поэтому их накопление из почвы приведет к недоброкачественности растительной продукции [7].

Результаты количественного определения тяжелых металлов в траве горца птичьего и листьях подорожника большого приведены в табл. 2, 3.

Анализ полученных результатов вызывает ряд трудностей. Современная нормативная документация не нормирует содержание тяжелых металлов в лекарственном растительном сырье. Концентрации тяжелых металлов, найденные в лекарствен-

Таблица 1

Валовое содержание тяжелых металлов в почве, мг/кг

Место сбора	Pb	Hg	Zn	Cu	Cr	Ni	Cd	Co	As
Заповедная зона	4,131	0,413	11,483	3,304	1,900	2,148	0,017	0,991	1,900
Вдоль железнодорожных путей сообщения	29,243	1,744	110,867	85,380	5,299	10,262	0,604	1,811	1,945
Улица Димитрова	15,631	1,665	73,252	18,313	5,457	6,104	0,185	2,775	1,665
Вдоль Московской трассы	10,080	1,790	14,132	6,029	5,276	11,211	0,207	4,993	2,167
Вблизи ТЭС «Вогресс»	7,273	0,260	11,255	7,879	3,723	5,281	0,087	2,078	3,810
Международный аэропорт Чертовицкое	33,866	2,128	25,908	8,050	4,627	15,545	0,213	6,292	1,573
Вблизи ООО «Воронежский Гипрокаучук»	17,250	1,156	21,876	8,673	3,469	4,240	0,116	1,253	0,626
Вблизи Нововоронежской АЭС	1,390	1,092	3,871	0,665	1,290	0,695	0,020	0,417	0,546
Вдоль правого берега Воронежского водохранилища	11,869	0,646	37,140	7,913	2,099	8,397	0,161	1,292	1,453
Вдоль электросетей	12,548	0,562	45,415	7,959	14,140	20,133	0,328	8,428	4,307
ПДК	32,000	2,100	55,000	33,000	—	20,000	0,500	—	2,000

Таблица 2

*Валовое содержание тяжелых металлов в траве горца птичьего, мг/кг*

Место сбора травы горца птичьего	Pb	Hg	Zn	Cu	Cr	Ni	Cd	Co	As
Заповедная зона	0,419	0,002	15,138	1,685	0,754	0,791	0,130	0,058	0,112
Вдоль железнодорожных путей сообщения	0,936	0,003	40,298	5,202	1,630	1,587	0,342	0,217	0,139
Улица Димитрова	1,403	0,006	44,490	5,473	3,653	3,625	0,194	0,292	0,313
Вдоль Московской трассы	1,466	0,003	133,307	12,167	4,454	5,308	0,527	0,470	0,413
Вблизи ТЭС «ВогрЭС»	1,648	0,003	61,985	9,125	3,977	4,862	0,409	0,354	0,177
Международный аэропорт Чертовицкое	11,340	0,008	173,804	18,598	15,876	12,550	0,726	0,605	0,272
Вблизи ООО «Воронежский Гипрокаучук»	2,391	0,004	80,314	11,252	6,776	7,926	0,368	0,368	0,360
Вблизи Нововоронежской АЭС	1,586	0,003	73,084	7,496	2,162	12,637	0,423	0,481	0,086
Вдоль правого берега Воронежского водохранилища	0,694	0,001	79,237	6,419	1,350	0,989	0,333	0,228	0,038
Вдоль электросетей	0,724	0,002	69,229	7,127	0,724	0,427	0,353	0,111	0,074
ПДК	6,000	0,100					1,000		0,500

Таблица 3

*Валовое содержание тяжелых металлов в листьях подорожника большого, мг/кг*

Место сбора листьев подорожника большого	Pb	Hg	Zn	Cu	Cr	Ni	Cd	Co	As
Заповедная зона	0,508	0,002	8,024	1,347	0,756	0,646	0,114	0,032	0,122
Вдоль железнодорожных путей сообщения	1,321	0,003	35,994	7,300	2,086	1,564	0,257	0,155	0,182
Улица Димитрова	1,796	0,006	24,331	7,205	4,928	3,154	0,219	0,285	0,350
Вдоль Московской трассы	1,602	0,004	17,322	4,509	11,950	7,491	0,246	0,517	0,394
Вблизи ТЭС «ВогрЭС»	1,885	0,002	42,127	8,425	3,974	3,724	0,250	0,477	0,579
Международный аэропорт Чертовицкое	7,807	0,008	42,425	10,430	35,578	7,572	0,405	0,469	0,384
Вблизи ООО «Воронежский Гипрокаучук»	1,567	0,004	30,165	5,327	2,820	2,047	0,178	0,313	0,251
Вблизи Нововоронежской АЭС	1,010	0,002	16,525	3,572	6,224	4,167	0,173	0,253	0,180
Вдоль правого берега Воронежского водохранилища	1,295	0,002	51,984	6,731	4,669	3,794	0,401	0,420	0,128
Вдоль электросетей	1,245	0,002	33,695	6,197	1,831	1,069	0,396	0,161	0,220
ПДК	6,000	0,100					1,000		0,500

ных растениях, порой существенно превышали нормы допустимого их содержания в пищевых продуктах [3].

Для анализа лекарственного сырья часто используются предельно допустимыми концентрациями, принятыми для биологически активных добавок к пище на растительной основе, воспользовались ими и мы [8—10]. Из данных таблицы 2 видно, что недоброкачественным по содержанию тяжелых металлов можно признать лишь сырье горца птичьего, собранного вблизи аэропорта (превышено содержание ртути почти в 2 раза). Что касается листьев подорожника большого, то недоброкачественным нами признано сырье, собранное вблизи тепловой электростанции «Вогрэс» (превышено содержание мышьяка) и вблизи аэропорта (также превышено содержание ртути). Остальное сырье соответствует требованиям существующей нормативной документации по содержанию тяжелых металлов [7].

В почвах также нормируется содержание цинка, меди и никеля, а в лекарственном растительном сырье мы не имеем возможности определить норму концентрации данных металлов, ввиду отсутствия нормативной документации для лекарственного растительного сырья по содержанию тяжелых металлов и отсутствия данных по предельно допустимому содержанию данных металлов для биологически активных добавок к пище на растительной основе. В то же время в литературе встречаются данные о вредном, в том числе, канцерогенном действии цинка, меди и никеля [3, 11]. Таким образом, нормирование содержания тяжелых металлов в лекарственном растительном сырье — одна из важнейших задач.

Для анализа полученных данных нами были посчитаны коэффициенты ранговой корреляции (коэффициента Спирмена). Коэффициент ранговой корреляции Спирмена — это непараметрический метод, который используется с целью статистического изучения связи между явлениями. В этом случае определяется фактическая степень параллелизма между двумя количественными рядами изучаемых признаков (в нашем случае, количественные содержания тяжелых металлов в образцах почвы и в лекарственном растительном сырье, собранном на данных территориях) и дается оценка тесноты установленной связи с помощью количественно выраженного коэффициента [12].

Расчеты коэффициента ранговой корреляции (коэффициента Спирмена) вели по формуле:

$$P = 1 - \frac{6 \sum (R_x - R_y)^2}{n(n^2 - 1)}$$

где  $P$  — коэффициент Спирмена;  $R_x$  — ранги значений содержания тяжелых металлов в образцах почвы;  $R_y$  — ранги значений содержания тяжелых металлов в лекарственном растительном сырье;  $n$  — число наблюдений.

Если  $P = \pm 1$ , то связь между параметрами функциональна,  $P$  от  $-0,3$  до  $0$  или от  $0$  до  $0,3$  — показатели слабой тесноты связи,  $P$  от  $-0,6$  до  $-0,3$  или от  $0,3$  до  $0,6$  — показатели умеренной тесноты связи,  $P$  от  $-1$  до  $-0,6$  или от  $0,6$  до  $1$  — показатели высокой тесноты связи,  $P = 0$  — связь отсутствует.

Ранги значений содержания тяжелых металлов в образцах почвы, траве горца птичьего и листьях подорожника большого, а также рассчитанные коэффициенты Спирмена приведены в табл. 4—6.

Анализ полученных данных (табл. 4—6) показывает, что содержание тяжелых металлов в почве и в лекарственных растениях в 55 % анализируемых мест сбора тесно связаны. Особенно четко данная связь наблюдается для заповедной зоны, международного аэропорта Чертовицкое и зоны правого берега Воронежского водохранилища. Это говорит о том, что большую часть тяжелых металлов лекарственное растительное сырье на данных территориях получает именно из почвы, также содержащей высокие их концентрации. Для образцов лекарственных растений, собранных вдоль железнодорожных путей сообщения и вблизи ТЭС «Вогресс» наблюдается слабая корреляционная связь между содержанием тяжелых металлов в растениях и в почве. Это говорит о том, в данных местах идет преимущественно загрязнение растений воздушным путем.

В результате эксперимента так же выявлено, что разные растения способны в разной степени концентрировать в себе тяжелые металлы, содержащиеся в почве. Так, анализ образцов подорожника большого показывает тесную корреляционную связь между содержанием тяжелых металлов в почве и в сырье подорожника. Это говорит о высокой способности подорожника большого концентрировать в себе тяжелые металлы из почвы и слабой способности к этому у горца птичьего.

Анализ корреляционной зависимости содержания конкретных тяжелых металлов в почве и лекарственном растительном сырье показывает, что при возрастании концентрации некоторых тяжелых металлов в почве концентрация этих металлов в растении не возрастает резко, то есть данный ме-

Таблица 4

Ранги значений содержания тяжелых металлов в образцах почвы

Место сбора образца почвы	Pb	Hg	Zn	Cu	Cr	Ni	Cd	Co	As
Заповедная зона	9	9	8	9	9	9	9	9	5
Вдоль железнодорожных путей сообщения	2	3	1	1	3	4	1	6	4
Улица Димитрова	4	4	2	2	2	6	5	4	6
Вдоль Московской трассы	7	2	7	8	4	3	3	3	3
Вблизи ТЭС «ВогрЭС»	8	10	9	7	6	7	8	5	2
Международный аэропорт Чертовицкое	1	1	5	4	5	2	3	2	7
Вблизи ООО «Воронежский Гипрокаучук»	3	5	6	3	7	8	7	8	9
Вблизи Нововоронежской АЭС	10	6	10	10	10	10	9	10	10
Вдоль правого берега Воронежского водохранилища	6	7	4	6	8	5	6	7	8
Вдоль электросетей	5	8	3	5	1	1	2	1	1

Таблица 5

Ранги значений содержания тяжелых металлов в траве горца птичьего и рассчитанные коэффициенты Спирмена

Место сбора травы горца птичьего	Pb	Hg	Zn	Cu	Cr	Ni	Cd	Co	As
Заповедная зона	10	8	10	10	9	9	10	10	6
Вдоль железнодорожных путей сообщения	7	4	9	9	7	7	7	8	5
Улица Димитрова	6	2	8	8	5	6	9	6	2
Вдоль Московской трассы	5	4	2	2	3	4	2	3	1
Вблизи ТЭС «ВогрЭС»	3	4	7	4	4	5	4	5	4
Международный аэропорт Чертовицкое	1	1	1	1	1	2	1	1	3
Вблизи ООО «Воронежский Гипрокаучук»	2	3	3	3	2	3	5	4	10
Вблизи Нововоронежской АЭС	4	4	5	5	6	1	3	2	7
Вдоль правого берега Воронежского водохранилища	9	10	4	7	8	8	8	7	9
Вдоль электросетей	8	8	6	6	10	10	6	9	8
Коэффициент Спирмена по металлу	0,31	0,62	-0,16	-0,10	-0,02	-0,27	0,19	0,07	0,38

Ранги значений содержания тяжелых металлов в листьях подорожника большого и рассчитанные коэффициенты Спирмена

Место сбора листьев подорожника большого	Pb	Hg	Zn	Cu	Cr	Ni	Cd	Co	As
Заповедная зона	10	6	10	10	10	10	10	10	10
Вдоль железнодорожных путей сообщения	6	5	4	3	8	8	4	9	7
Улица Димитрова	3	2	7	4	4	6	7	6	4
Вдоль Московской трассы	4	3	8	8	2	2	6	1	2
Вблизи ТЭС «Вогрэс»	2	6	3	2	6	5	5	3	1
Международный аэропорт Чертовицкое	1	1	2	1	1	1	1	2	3
Вблизи ООО «Воронежский Гипрокаучук»	5	3	6	7	7	7	8	5	5
Вблизи Нововоронежской АЭС	9	6	9	9	3	3	9	7	8
Вдоль правого берега Воронежского водохранилища	7	6	1	5	5	4	2	4	9
Вдоль электросетей	8	6	5	6	9	9	3	8	6
Коэффициент Спирмена по металлу	0,53	0,74	0,41	0,62	-0,04	0,16	0,67	0,41	0,38

талл накапливается преимущественно в необходимом для физиологических процессов в растении количестве. Это выражено для таких тяжелых металлов, как хром и никель. Тесная корреляционная связь между концентрацией металла в почве и лекарственном растительном сырье прослеживается для ртути, высока она также для мышьяка и свинца. Однако коэффициент ранговой корреляции Спирмена при большом количестве одинаковых рангов по одной или обоим сопоставляемым переменным дает «огрубленные» значения. Листья подорожника большого в сравнении с травой горца птичьего проявляют более высокую концентрирующую активность тяжелых металлов, содержащихся в почве, таких как кадмий, медь, а также цинк и кобальт.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Касимов Н. С. Геохимические принципы эколого-географической систематики городов / Н. С. Касимов, А. И. Перельман // Экогеохимия городских ландшафтов. — М.: Изд-во МГУ, 1995. — С. 20—36.
2. Протасова Н. А. Микроэлементы: биологическая роль, распределение в почвах, влияние на распространение заболеваний человека и животных / Н. А. Протасова // Соросовский образовательный журнал. — 1998. — № 12. — С. 32.
3. Гравель И. В. Региональные проблемы экологической оценки лекарственного растительного сырья и фитопрепаратов на примере Алтайского края: Дисс... докт. фарм. наук. — М., 2005. — 395 с.
4. Кудрин А. Н. Экологические аспекты фармакологии и фармации / А. Н. Кудрин // Московские аптеки. — 1997. — №3. — с. 23—24
5. ГОСТ 17.4.2.01—81 «Охрана природы. Почвы. Номенклатура показателей санитарного состояния»
6. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства (изд. 2-е, переработанное и дополненное). — М.: Изд-во ЦИНАО, 1992. — 62 с.
7. СанПин 2.3.2.1078—01 «Продовольственное сырье и пищевые продукты. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы»
8. ГОСТ 17.4.2.01—81 «Охрана природы. Почвы. Номенклатура показателей санитарного состояния»
9. Проблема нормирования тяжелых металлов в лекарственном растительном сырье / О. И. Терешкина [и др.] // Фармация. — 2010. — С. 7—11.
10. Пузанов А. В. Тяжелые металлы в природных и техногенных ландшафтах Алтая / А. В. Пузанов, С. В. Бабошкина, И. В. Горбачев // Природа. — 2007. — № 3. — С. 60—65.
11. Godzik B. Heavy metals content in plants from zinc dumps and reference area // Pol. Bot. Stud. 1993. Vol. 5. P. 113—132.
12. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика / А. И. Кобзарь. — М.: Физматлит, 2006. — С. 626—628.

*Великанова Нина Алексеевна* — ассистент кафедры фармацевтической химии и фармацевтической технологии фармацевтического факультета, Воронежский государственный университет; e-mail: ninochka\_v89@mail.ru

*Гапонов Сергей Петрович* — д.б.н., профессор, заведующий кафедрой зоологии и паразитологии Воронежского государственного университета; e-mail: gaponov2003@mail.ru

*Сливкин Алексей Иванович* — зав. кафедрой фармацевтической химии и фармацевтической технологии ВГУ, д.фарм.н., профессор; e-mail: slivkin@pharm.vsu.ru

*Velikanova Nina A.* — lecturer of chair pharmaceutical chemistry and pharmaceutical technology, Voronezh State University; e-mail Ninochka\_V89@mail.ru

*Gaponov Sergey P.* — Full Professor, PhD, DSci, head of the Department of Zoology and Parasitology of Voronezh State University; e-mail: gaponov2003@mail.ru

*Slivkin Alexsey Y.* — professor head of the pharmaceutical chemistry and pharmaceutical technology department, Voronezh State University; PhD; e-mail: slivkin@pharm.vsu.ru