

УДК 631.4:574.2

UDC 631.4:574.2

03.00.00 Биологические науки

Biological sciences

**БИОМОНИТОРИНГ ЗАГРЯЗНЕНИЯ  
ХИМИЧЕСКИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ  
РЕКРЕАЦИОННЫХ ТЕРРИТОРИЙ  
Г. РОСТОВА-НА-ДОНУ**

**BIOMONITORING OF CHEMICAL ELEMENTS  
CONTAMINATION OF RECREATIONAL  
AREAS OF ROSTOV-ON-DON**

Гудзенко Евгения Олеговна  
*Государственный музей-заповедник  
М.А. Шолохова, Вешенская, Россия*

Gudzenko Evgenia Olegovna  
*State Sholokhov's Museum-Reserve,  
Vyoshenskaya, Russia*

Безуглова Ольга Степановна  
д.б.н, профессор  
*Южный федеральный университет,  
Ростов-на-Дону, Россия*

Bezuglova Olga Stepanovna  
Dr.Sci.Bio., professor  
*South Federal University,  
Rostov-on-Don, Russia*

В статье приведены данные о содержании химических элементов в почвах, листьях растений и лишайниках трех скверов города Ростова-на-Дону. В результате расчета суммарного показателя загрязнения почв химическими элементами установлено, что для почв скверов характерна слабая степень загрязнения

The article presents the data on the chemical elements content in soils, plant leaves and lichens of three squares in Rostov-on-Don. The calculation of the total index of soil contamination by chemical elements finds that soils of the square are characterized by a low degree of contamination

Ключевые слова: ПОЧВА, ДЕРЕВЬЯ,  
ЛИШАЙНИКИ, ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ,  
ЗАГРЯЗНЕНИЕ

Keywords: SOIL, TREES, LICHENS, CHEMICAL  
ELEMENTS, POLLUTION

## **Введение**

Загрязнению тяжелыми металлами в условиях городской среды подвергаются вода, почва, растения и животные, а также промышленные отходы, аккумулирующие их в концентрациях, превышающих предельно-допустимые уровни. Для оценки содержания тяжелых металлов в природных средах часто используются методы биологического мониторинга, включающего систему наблюдений за экологическим состоянием компонентов природных объектов и биологическую оценку окружающей среды. Для проведения биомониторинга в качестве индикаторов состояния окружающей среды чаще всего используются растения (Шаназарова, Ахматова, 2015; Baker, 1981).

**Цель работы:** оценка экологического состояния рекреационных территорий города Ростова-на-Дону.

### Задачи, объекты и методы исследований

Для оценки экологического состояния рекреационных территорий города Ростова-на-Дону был проведен сопряженный анализ содержания химических элементов в почвах, листьях деревьев и талломах лишайников на территории трех скверов: Дортмундского (Советский район), Осеннего (Первомайский район), 1-го Пионерского слета (Ленинский и Октябрьский районы), находящихся в разных по антропогенной нагрузке районах города (рис. 1).

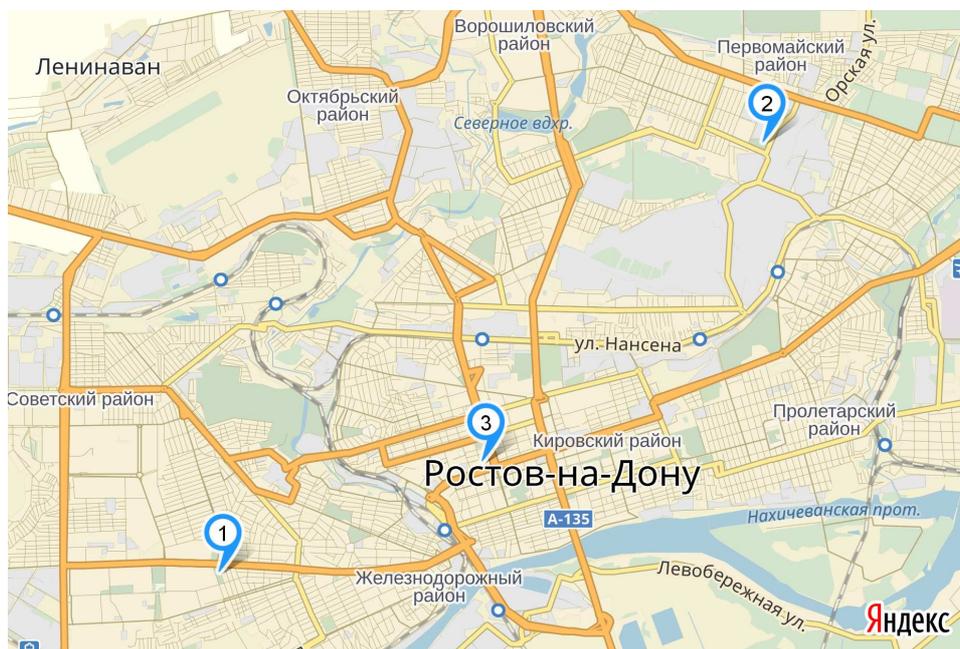


Рисунок 1 – Карта-схема г. Ростова-на-Дону с указанием расположения объектов исследования: 1 – сквер Дортмундский; 2 – сквер Осенний; 3 – сквер 1-го Пионерского слета

Для изучения загрязнения химическими элементами, были отобраны образцы листьев со средневозрастных экземпляров деревьев *Acer platanoides* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Ulmus pumila* L., а также талломы лишайников *Phaeophyscia orbicularis* (Necker) Moberg, *Physcia adscendens* H. Olivier и *Xanthoria parietina* (L.) Belt., встречающихся на территории всех трех скверов.

Анализ валового содержания химических элементов в почвах, листьях и лишайниках проводили методом рентгенфлуоресцентного

анализа с помощью аппарата рентгеновского для спектрального анализа «Спектроскан МАКС-GV». Пробы почв скверов отбирали в поверхностном слое методом конверта. Количество проб соответствует ГОСТ 17.4.3.01-83.

Для оценки загрязнения использовались такие показатели, как предельно допустимые концентрации (ПДК) содержания химических элементов в почве; коэффициент концентрации химического элемента (Кс), который определяется отношением его реального содержания в почве (С) к фоновому (Сф), коэффициент опасности (Ко) – содержание химического элемента в сравнении с ПДК (СанПиН 4266-87), суммарный показатель загрязнения Zс, предложенный Ю.Е. Саеом (Сае и др., 1990).

Так как в России нормативы ПДК хрома и кобальта в почвах не разработаны, применяли ПДК для почв приусадебных участков в Германии (Eikmann, Kloke, 1991). Нормативы ПДК стронция в почвах не установлены, поэтому для оценки воспользовались величиной 600 мг/кг, принятой в качестве верхней границы нормального содержания валового стронция в почвах (Ковальский, 1974). В качестве фоновых значений использованы данные, приведенные в работе В.В. Акимцева и др. (1962), для стронция – кларк валового стронция в почвах (Ковальский, 1974), а для марганца – кларк валового марганца в почвах (Виноградов, 1962).

Оценка степени поглощения химических элементов растениями и лишайниками производилась на основании расчета коэффициента биологического поглощения (КБП), как отношения содержания химического элемента в надземной части растения к общему содержанию элемента в почве (Перельман, Касимов, 1999).

### **Результаты исследований**

В результате оценки содержания химических элементов установлено, что для почв обследованных скверов характерно повышенное содержание валового хрома, свинца, цинка и мышьяка, которое превышает

не только фоновые значения, но и ПДК, что подтверждает исследования, проведенные ранее (Безуглова и др., 2000), и свидетельствует о накоплении под пологом деревьев в поверхностном слое почвы цинка, мышьяка и свинца.

Комплексную оценку токсикологической обстановки, отталкиваясь от фонового содержания химических элементов в почве, получили, рассчитав коэффициент концентрации (Кс) для ряда химических элементов, коэффициент опасности (Ко) и суммарный показатель загрязнения (Zс) (табл. 1).

Таблица 1

Валовое содержание химических элементов в почве и результаты расчета показателей загрязнения почвы скверов г. Ростова-на-Дону

Химический элемент	Сквер Дортмундский			Сквер Осенний			Сквер 1-го Пионерского слета			ПДК	Фон
	мг/кг	Кс	Ко	мг/кг	Кс	Ко	мг/кг	Кс	Ко		
V	103,1	1,5	0,7	120,1	1,8	0,8	122,3	1,8	0,8	150	67
Cr	120,0	1,2	1,2	116,9	1,2	1,2	97,6	1,0	1,0	100	100
Pb	58,0	2,9	1,8	61,5	3,1	1,9	30,7	1,5	1,0	32	20
Co	2,8	0,4	0,1	11,5	1,4	0,2	14,3	1,8	0,3	50	8
Ni	31,8	0,7	0,4	56,0	1,2	0,7	52,9	1,2	0,6	85	45
Cu	37,6	1,2	0,7	51,9	1,7	0,9	42,1	1,4	0,8	55	30
Zn	145,5	2,2	1,4	162,3	2,5	1,6	112,9	1,7	1,1	100	65
As	15,6	1,9	1,6	17,2	2,2	1,7	12,4	1,6	1,2	10	8
Sr	180,2	1,3	0,3	198,1	1,4	0,3	191,4	1,4	0,3	600	140
Mn	651,8	0,8	0,4	930,9	1,2	0,6	834,6	1,0	0,6	1500	800
Zс	6,4			8,5			4,4				

Результаты показали, что исследованные образцы почвы всех трех скверов имеют низкий (допустимый) уровень загрязнения (Zс колеблется от 4,4 в сквере 1-го Пионерского слета до 8,5 в сквере Осеннем).

Низкий показатель степени загрязнения почвы, характерный для сквера 1-го Пионерского слета, вероятно, обусловлен тем, что на его территории регулярно осуществляется полив зеленых насаждений, тогда как в сквере Дортмундском данный вид уходовых работ выполняется

гораздо реже, а в сквере Осеннем вообще не осуществляется. При этом сквер Осенний расположен в промышленном районе с достаточно высокой транспортной нагрузкой, поэтому более высокое значение  $Z_c$  для данного объекта весьма ожидаемо.

Расчет коэффициента концентрации ( $K_c$ ) показал, что в почве сквера Дортмундского концентрация таких химических элементов, как V, Cr, Pb, Cu, Zn, As, Sr превышает фоновые показатели; при этом больше всего – Pb ( $K_c = 2,9$ ). В двух других скверах превышение отмечено для всех элементов, но в сквере Осеннем – больше всего для Pb ( $K_c = 3,1$ ), а в сквере 1-го Пионерского слета – для V ( $K_c = 1,8$ ) и Co ( $K_c = 1,8$ ).

По коэффициенту  $K_o$  ситуация на объектах складывается более благоприятная. К элементам, представляющим опасность загрязнения почвы, можно отнести Cr, Pb, Zn, As. При этом в сквере 1-го Пионерского слета  $K_o$  всех элементов, кроме Zn и As, не превышает 1.

Результаты определения содержания химических элементов в исследованных растительных образцах и расчета коэффициентов биологического поглощения представлены в таблице 2.

Анализируя данные таблицы 2 можно заключить, что сильное превышение содержания химических элементов в листьях деревьев, по сравнению с верхней границей их среднего содержания, характерно для всех трех скверов по таким элементам, как Cr (в 45,6 – 57,6 раз), Pb (в 11,5 – 12,4 раз), Ni (в 9 – 10,2 раз), As (в 15,2 – 16,2 раз).

Превышение показателей среднего содержания Cr в листьях растений всех скверов, по-видимому, связано с региональной особенностью почв Северного Приазовья, для которых характерно изначально повышенное содержание данного элемента, что также подтверждается в исследованиях В.А.Чаплыгина (2014).

Таблица 2

Содержание химических элементов в листьях деревьев и лишайниках скверов города  
Ростова-на-Дону

Химический элемент	Среднее содержание элементов в листьях, мг/кг (По Садовниковой Л.К., 2006)	Сквер Дортмундский		Сквер Осенний		Сквер 1-го Пионерского слета	
		Содержание химических элементов, мг/кг / КБП					
		Листья деревьев	Талломы лишайников	Листья деревьев	Талломы лишайников	Листья деревьев	Талломы лишайников
V	0,2-1,5	-	<u>10,0</u> 0,09	-	<u>10,5</u> 0,08	-	<u>6,5</u> 0,05
Cr	0,1-0,5	<u>22,8</u> 0,19	<u>36,8</u> 0,30	<u>28,8</u> 0,24	<u>39,1</u> 0,33	<u>25,6</u> 0,26	<u>38,7</u> 0,39
Pb	5-10	<u>120,1</u> 2,07	<u>129,8</u> 2,23	<u>114,5</u> 1,86	<u>149,5</u> 2,43	<u>123,9</u> 4,03	<u>192,4</u> 6,26
Co	0,02-1	-	-	-	-	-	-
Ni	0,1-5	<u>51,0</u> 1,60	<u>47,3</u> 1,48	<u>49,1</u> 0,87	<u>41,1</u> 0,73	<u>44,9</u> 0,84	<u>43,3</u> 0,81
Cu	5-30	<u>19,2</u> 0,51	<u>36,5</u> 0,97	<u>32,0</u> 0,61	<u>14,8</u> 0,28	<u>24,6</u> 0,58	<u>16,2</u> 0,38
Zn	27-150	<u>132,4</u> 0,90	<u>357,7</u> 2,45	<u>163,4</u> 1,00	<u>251,6</u> 1,55	<u>140,1</u> 1,24	<u>288,9</u> 2,55
As	1-1,7	<u>26,7</u> 1,71	<u>27,5</u> 1,76	<u>25,8</u> 1,50	<u>30,8</u> 1,78	<u>27,2</u> 2,21	<u>37,6</u> 3,03
Sr	-	<u>173,8</u> 0,96	<u>129,2</u> 0,71	<u>147,3</u> 0,74	<u>87,2</u> 0,44	<u>155,0</u> 0,80	<u>88,4</u> 0,46
Mn	200-300	<u>222,6</u> 0,34	<u>222,8</u> 0,34	<u>274,7</u> 0,29	<u>226,5</u> 0,24	<u>216,6</u> 0,25	<u>178,1</u> 0,21

Для лишайников обследованных скверов, установлена такая же зависимость, как и для листьев деревьев. Так, по данным, указанным в работе В.А.Чаплыгина (2014), в лишайниках, собранных в городе, содержание Cr варьировало в пределах 5-10 мг/кг, тогда как лишайники скверов Дортмундского, Осеннего и 1-го Пионерского слета характеризуются концентрацией Cr в пределах от 36,8 до 39,1 мг/кг. По остальным элементам превышение средних значений в листьях деревьев обследованных скверов не выявлено, следовательно, они лежат в границах

среднестатистических значений и не накапливаются в надземной части растений.

Коэффициенты биологического поглощения позволяют оценить индивидуальную значимость химических элементов для древесных растений и лишайников. Они свидетельствуют, что такие элементы как кобальт и ванадий не востребуются древесными растениями, лишайники также характеризуются отсутствием кобальта в талломе, а ванадий оценивается как элемент очень слабого захвата. К элементам слабого накопления и среднего захвата можно отнести хром, медь, марганец и стронций. В то же время свинец, цинк и мышьяк характеризуются как элементы сильного биологического накопления.

Интересно, что в отношении цинка в древесных растениях, возможно, срабатывает барьерный механизм, так как в сквере Осеннем, где содержание цинка составило 1,6 ПДК и в сквере Дортмундском (1,4 ПДК) коэффициент биологического поглощения листьями деревьев оказался ниже 1, а лишайниками выше (КБП – 2,46), в то время как в относительно более благополучном по этому химическому элементу сквере 1-го Пионерского слета наблюдается сильное накопление цинка, как листьями деревьев (КБП – 1,24), так и особенно, лишайниками (КБП оказался равным 2,56). У большинства элементов, обнаруженных в листьях, коэффициент биологического поглощения меньше единицы, следовательно, загрязнение листьев деревьев, произрастающих на территории скверов, осуществляется из почвы. Такие элементы, как свинец и мышьяк накапливаются, в основном, из атмосферы.

Накопление химических элементов, таких, как никель, цинк, мышьяк, в поверхностном горизонте почвы, свидетельствует о поступлении их из антропогенных источников, с выхлопами автомобильного транспорта и за счет деятельности промышленных предприятий.

По интенсивности накопления тяжелые металлы и мышьяк располагаются следующим образом в порядке возрастания:

- сквер Дортмундский: почва Co>As>Ni>Cu>Pb>V>Cr>Zn>Sr>Mn, деревья Cr>Mn>Cu>Zn>Sr>Ni>As>Pb, лишайники V>Cr>Mn>Sr>Cu>Ni>As>Pb>Zn;

- сквер Осенний: почва Co>As>Cu>Ni>Pb>Cr>V>Zn>Sr>Mn, деревья Cr>Mn>Cu>Sr>Ni>Zn>As>Pb, лишайники V>Mn>Cu>Cr>Sr>Ni>Zn>As>Pb;

- сквер 1-го Пионерского слета: почва As>Co>Pb>Cu>Ni>Cr>Zn>V>Sr>Mn, деревья Mn>Cr >Cu>Sr>Ni>Zn>As>Pb, лишайники V>Mn>Cu>Cr>Sr>Ni>Zn>As>Pb.

Можно сделать вывод, что на всех обследованных объектах ряды накопления в листьях деревьев и талломах лишайников химических элементов, за исключением стронция, мышьяка, цинка и меди, выглядят одинаково. Это свидетельствует о том, что накопление определенных элементов происходит практически в одинаковых объемах. При этом кобальт отсутствует в лишайниках, хотя по данным Е.Ю. Меденец (2010) в лишайниках г. Новочеркаска данный элемент обнаруживался.

В исследованных образцах листовых пластинок древесных растений кобальт также отсутствует, хотя в почвах скверов города Ростова-на-Дону в рамках настоящего исследования он был обнаружен, а в сквере Осеннем и сквере 1-го Пионерского слета даже в концентрациях, превышающих фоновые (табл.1).

По мнению Е.Ю. Меденец (2010), содержание марганца относительно других элементов в лишайнике является определенным маркером, указывающим на перестройку механизма накопления тяжелых металлов под влиянием комплекса абиотических факторов. Содержание марганца в талломах лишайников скверов города Ростова-на-Дону колеблется от 178,1 мг/кг до 226,5 мг/кг. Содержание марганца в лишайниках сквера Осеннего выше (226,5 мг/кг), чем в двух других. Это объясняется близким

расположением автомобильной дороги и завода Ростсельмаш. При этом в талломах лишайников сквера 1-го Пионерского слета наблюдается повышенное содержание свинца, что обусловлено высоким транспортным потоком в центре города.

### **Выводы**

1. Исследованные образцы почвы всех трех скверов имеют низкий (допустимый) уровень загрязнения (Zс колеблется от 4,4 в сквере 1-го Пионерского слета до 8,5 в сквере Осеннем).

2. Установлено, что Co и V практически не востребуются древесными растениями скверов, в талломе лишайников Co отсутствует, V оценивается как элемент очень слабого захвата. Cr, Cu, Mn и Sr можно отнести к элементам слабого накопления и среднего захвата. Pb, Zn и As характеризуются как элементы сильного биологического накопления.

3. Значительное превышение содержания химических элементов в листьях деревьев, по сравнению с верхней границей их среднего содержания, характерно для всех трех скверов по таким элементам, как Cr, Pb, Ni, As.

4. По интенсивности накопления тяжелые металлы и мышьяк располагаются следующим образом в порядке возрастания: - сквер Дортмундский: почва Co>As>Ni>Cu>Pb>V>Cr>Zn>Sr>Mn, деревья Cr>Mn>Cu>Zn>Sr>Ni>As>Pb, лишайники V>Cr> Mn>Sr>Cu>Ni>As>Pb>Zn; - сквер Осенний: почва Co>As>Cu>Ni>Pb>Cr>V>Zn>Sr>Mn, деревья Cr>Mn>Cu>Sr>Ni>Zn>As>Pb, лишайники V>Mn>Cu>Cr>Sr>Ni>Zn>As>Pb; - сквер 1-го Пионерского слета: почва As>Co>Pb>Cu>Ni>Cr>Zn>V>Sr>Mn, деревья Mn>Cr >Cu>Sr>Ni>Zn>As>Pb, лишайники V>Mn>Cu>Cr>Sr>Ni>Zn>As> Pb.

### **Библиографический список**

1. Акимцев В.В., Болдырева А.В., Голубев С.Н. и др. Содержание микроэлементов в почвах Ростовской области // Микроэлементы и естественная радиоактивность. Ростов н/Д: Изд-во Рост. ун-та, 1962. С. 37-42.

2. Безуглова О.С., Горбов С.Н., Приваленко В.В. Формирование гумусового профиля и микроэлементного состава почв рекреационных территорий г. Ростов-на-Дону // Почвоведение, 2000. № 9. С. 1142-1148.
3. Виноградов А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры // Геохимия. 1962. № 7. С. 555-571.
4. ГОСТ 17.4.3.01-83 «Об охране природы. Почвы. Общие требования к отбору почв». – М.: Изд-во стандартов, 2004.
5. Ковальский В.В. Геохимическая экология. М.: Наука, 1974. 299 с.
6. Меденец Е.Ю. Лихеноиндикация атмосферного загрязнения городов Новочеркасска и Ростова-на-Дону. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ростов-на-Дону, 2010. 24 с.
7. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафта. М.: МГУ, 1999. 610 с.
8. Сагт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.Л. Геохимия окружающей среды. М.: Недра, 1990. 335 с.
9. СанПиН 4266-87 «Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами». – М., 1987.
10. Чаплыгин В.А. Накопление и распределение тяжелых металлов в травянистой растительности техногенных ландшафтов Нижнего Дона: Дисс. ... канд. биол. наук. – Ростов н/Д, 2014. – 193 с.
11. Шаназарова А.С., Ахматова А.Т. Оценка содержания тяжелых металлов в растениях хвостохранилища п. Сумсар (Джалал-Абадская область) // Вестник КРСУ. 2015. Т. 15. № 1. С. 165-167.
12. Baker A.J.M. Accumulators and excluders strategies in the response of plants to heavy metals // J. Plant Nutr, 1981. V. 3. № 1/4. P. 643-654.
13. Eikmann Th., Kloke A. Nutzungs- und schutzgutbezogene Orientierungswerte für (Schad) Stoff in Boden // UDLUFA-Mitteilungen, 1991. H. 1. P. 19-26.

## References

1. Akimcev V.V., Boldyreva A.V., Golubev S.N. i dr. Soderzhanie mikroehlementov v pochvah Rostovskoj oblasti // Mikroehlementy i estestvennaya radioaktivnost'. Rostov n/D: Izd-vo Rost. un-ta, 1962. S. 37-42.
2. Bezuglova O.S., Gorbov S.N., Privalenko V.V. Formirovanie gumusovogo profilya i mikroehlementnogo sostava pochv rekreacionnyh territorij g. Rostov-na-Donu // Pochvovedenie, 2000. № 9. S. 1142-1148.
3. Vinogradov A.P. Srednee sodержanie himicheskikh ehlementov v glavnyh tipah izverzhennyh porod zemnoj kory // Geohimiya. 1962. № 7. S. 555-571.
4. GOST 17.4.3.01-83 «Ob ohrane prirody. Pochvy. Obshchie trebovaniya k otboru pochv». – М.: Izd-vo standartov, 2004.
5. Koval'skij V.V. Geohimicheskaya ehkologiya. М.: Nauka, 1974. 299 с.
6. Medenec E.YU. Lihenoindikaciya atmosfernogo zagryazneniya gorodov Novoчеркасска i Rostova-na-Donu. Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk. Rostov-na-Donu, 2010. 24 s.
7. Perel'man A.I., Kasimov N.S. Geohimiya landshafta. М.: MGU, 1999. 610 s.
8. Saet YU.E., Revich B.A., Yanin E.L. Geohimiya okruzhayushchej sredy. М.: Nedra, 1990. 335 s.
9. SanPiN 4266-87 «Metodicheskie ukazaniya po ocenke stepeni opasnosti zagryazneniya pochvy himicheskimi veshchestvami». – М., 1987.
10. Чаплыгин В.А. Накопление и распределение тяжелых металлов в травянистой растительности техногенных ландшафтов Нижнего Дона: Дисс. ... канд. биол. наук. – Ростов н/Д, 2014. – 193 с.

11. Shanazarova A.S., Ahmatova A.T. Ocenka sodержaniya tyazhelyh metallov v rasteniyah hvostohranilishcha p. Sumsar (Dzhalal-Abadskaya oblast') // Vestnik KRSU. 2015. T. 15. № 1. S. 165-167.
12. Baker A.J.M. Accumulators and excluders strategies in the response of plants to heavy metals // J. Plant Nutr, 1981. T. 3. № 1/4. S. 643-654.
13. Eikmann, Th., Kloke A. Use and protected commodity-based orientation values for (harmful) substances in soil // UDLUFA-communications, 1991. T. 1. S. 19-26.