

**УДК 504.06+581.5**

## **КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ В ХОПЕРСКОМ ГОСУДАРСТВЕННОМ ПРИРОДНОМ ЗАПОВЕДНИКЕ**

*Игнатова И. В.<sup>1</sup>, Калаев В. Н.<sup>1</sup>, Каверина Н. В.<sup>1</sup>, Калаева Е. А.<sup>1</sup>, Харченко Н. Н.<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет», Воронеж, Россия

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет

им. Г. Ф. Морозова», Воронеж, Россия

E-mail: irina777.84@list.ru

Представлены результаты исследований состояния окружающей среды на территории Хоперского государственного природного заповедника. Установлено содержание химических элементов в почве, в листьях березы повислой и в хвое сосны обыкновенной в Хоперском государственном природном заповеднике и на прилегающей к нему территории (с. Пески). Результаты испытаний на токсичность почвенных образцов с помощью цериодафний (*Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg) позволяют классифицировать их как нетоксичные. Общее состояние среды Хоперского государственного природного заповедника на основании изучения флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой оценивается как нормальное. На основании проведенных исследований можно рекомендовать полученные данные в качестве фоновых для мониторинговых исследований в районе Хоперского государственного природного заповедника после начала промышленной разработки медно-никелевых месторождений в Новохоперском районе Воронежской области.

**Ключевые слова:** Хоперский государственный природный заповедник, цериодафния, флуктуирующая асимметрия, тяжелые металлы, экологический мониторинг.

### **ВВЕДЕНИЕ**

В настоящее время в Новохоперском районе Воронежской области решается вопрос о разработке месторождений медно-никелевых руд в непосредственной близости от охраняемой территории федерального значения, что может оказать влияние на состояние окружающей среды, в том числе привести к загрязнению Хоперского государственного природного заповедника [1]. Поэтому особую важность имеет проведение комплексных исследований состояния окружающей среды до начала работ по промышленной добыче никеля, что позволит впоследствии объективно оценить возможный экологический ущерб.

Для определения степени загрязнения окружающей среды используют не только количественный химический анализ, но и ответные реакции живых организмов [2]. Достаточно часто для этих целей применяют древесные растения, которые длительное время произрастают на обследуемой территории. Одним из методов оценки качества среды является установление уровня флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula* Roth), которая представляет собой различия между левой и правой сторонами морфологических структур, обладающих билатеральной симметрией. Данный тест достаточно часто

используют как индикатор уровня антропогенного загрязнения [3–8 и др.].

При проведении мониторинга недостаточно установить отклик растительных организмов на внешнее воздействие, необходимо также провести токсикологические исследования на животных. Наиболее часто для этих целей используют цериодафний (*Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg) [9], которые удобны для культивирования, характеризуются высокой плодовитостью маточной и синхронизированной культур в оптимальных условиях [2]. При применении этого тест-объекта можно регистрировать смертность, изменение плодовитости, двигательной активности, поведенческих реакций, морфометрии и окраски тела, скорости поедания корма, а в хроническом эксперименте – появление физиологических, морфологических и генетических изменений, возникших под влиянием токсиканта [9].

Цель работы – фоновый мониторинг состояния окружающей среды в районе Хоперского государственного природного заповедника до начала проведения работ по разработке медно-никелевых месторождений.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводились в Хоперском государственном природном заповеднике (вблизи с. Варварино (51°10'56.9"N 41°44'17.2"E)) и на прилегающей территории (с. Пески Поворинского района (51°14'24.30"N 42°25'59.2"E)). Объектами исследования служили почва, листья березы повислой (*Betula pendula* Roth) и хвоя сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.).

Взятие почвенных образцов проводили на глубине 10–30 см в трех точках на каждой исследуемой территории. Хвою сосны и листья березы собирали с 4 фенотипически здоровых деревьев одного возраста на высоте 1,2–1,5 м. Элементный анализ собранных образцов почвы, хвои и листвы проводили в Центре коллективного пользования Воронежского госуниверситета на рентгенофлуоресцентном спектрометре S8 Tiger (Bruker AXS GmbH, Германия).

Для изучения флуктуирующей асимметрии производили сбор листьев березы повислой (по 400 листьев с каждой территории) в соответствии с рекомендациями [5].

На базе Филиала «ЦЛАТИ по Воронежской области» Федерального государственного бюджетного учреждения «Центр лабораторного анализа и технических измерений по Центральному федеральному округу» выполнен биологический контроль качества водных вытяжек исследуемых почв в соответствии с методикой [10].

Статистическую обработку результатов исследования проводили с помощью пакета программы Stadia 7.0 Professional. Обработку данных осуществляли согласно рекомендациям [11]. Кластерный анализ проводили с использованием метрики нормированный Эвклид, стратегия группировки – группового соседа. В матрицу данных вносили для каждого обследованного дерева средние значения показателей флуктуирующей асимметрии, содержание в листьях березы химических элементов. Корреляционные связи устанавливали с использованием коэффициента корреляции Спирмена ( $r_s$ ). Вычисление корреляций для проведения факторного анализа

осуществляли с использованием коэффициента корреляции Спирмена. Выбор числа общих факторов осуществляли с использованием критерия Кеттелла.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

### Содержание металлов в почве и растительном материале на исследуемых территориях

В таблице 1 представлено содержание металлов в почвенных образцах. На обеих исследуемых территориях отмечается превышение ПДК по сурьме (в 1,3 раза), кроме того, в почвах с. Пески установлено превышение ПДК по мышьяку (в 1,3 раза). В пробах с территории с. Пески по сравнению с пробами из Хоперского государственного природного заповедника выше содержание цинка, меди, мышьяка, олова. Цинк и мышьяк относятся к высокоопасным металлам, а медь – к умеренноопасным. На территории заповедника больше содержание свинца, который относится к высокоопасным металлам, кобальта, никеля, хрома (умеренноопасных) и ванадия и бария (малоопасных) [12].

**Таблица 1**  
**Содержание металлов в почвах исследуемых территорий**

Химический элемент	Валовое содержание металлов, мг/кг			
	Хоперский государственный природный заповедник	с. Пески	Величина ПДК (ОДК) [13]	Среднее значение для Воронежской области [14]
V	44,3	33,7	150*	
Cr	49,7	36,7		17,0
Ni	14	8,7	20**	13,1
Y	5	4		
Co	3	1		8,4
Cs	14,7	9		
Ba	684,7	530,7		
Cu	2,7	3,3	33**	23,3
Zn	22	22,3	55**	52,7
As	1,7	2,7	2**	1,2
Rb	17,3	14,7		
Sr	18,7	18,7		
Pb	9	7,7	32**	9,9
Zr	73	49		
Sn	1,3	2		
Cd	6	6	4,5*	0,2

*Примечание:* \* – величина ПДК, \*\* – величина ОДК.

Источниками свинца, хрома, меди являются бензин и сточные воды [15].

Основные источники поступления цинка в почву – осадки сточных вод, минеральные удобрения, воздушная пыль промышленного происхождения [12]. Показано, что в населенных пунктах происходит техногенное поступление меди и олова в почву. Повышенное содержание цинка в почвенных образцах населенного пункта связано с антропогенной деятельностью [16]. В зависимости от значимости тяжелых металлов для растений, они делятся на необходимые для жизнедеятельности в небольших концентрациях (медь, железо, марганец, цинк, молибден, кобальт, хром, никель, которые становятся токсичными только при значительном повышении содержания в почве и растениях) и не участвующие в метаболизме (свинец, ванадий, кадмий, ртуть, которые являются токсичными даже в очень низких концентрациях) [15].

Полученные нами результаты по содержанию некоторых металлов (свинца, мышьяка, никеля, хрома, кобальта и цинка) выше, а по меди – ниже значений, определенных Дьяковой Н. А. в Хоперском государственном природном заповеднике [14]. Это можно объяснить неравномерным распределением элементов в почвах. На двух исследуемых территориях содержание хрома, мышьяка и кадмия оказалось выше средних значений, установленных для Воронежской области [14].

Большинство металлов обнаруживаются в живых организмах в малых количествах, входя в состав биологически активных веществ. Выделяют микроэлементы, биологическая роль которых известна (кобальт, медь, молибден, цинк, хром, ванадий, никель, марганец), и элементы, роль которых не известна (свинец, кадмий, сурьма, мышьяк, олово и др.) [17].

В образцах листьев березы повислой, собранных на территории с. Пески, по сравнению с образцами с территории Хоперского государственного природного заповедника, наблюдается повышенное содержание всех исследуемых элементов (алюминия – в 1,3, марганца – в 2,1, железа – в 1,9, цинка – в 4,4, стронция – в 1,1, натрия – в 1,3, магния – в 1,2 раза) (табл. 2).

**Таблица 2**

**Элементный состав растительного материала на исследуемых территориях**

Химический элемент	Содержание элементов, мг/кг			
	Хоперский государственный природный заповедник		с. Пески	
	Листья березы повислой	Хвоя сосны обыкновенной	Листья березы повислой	Хвоя сосны обыкновенной
Na	87,5	170	115	110
Mg	2167,5	496,7	2510	516,7
Al	157,5	490	202,5	370
Si	417,5	1110	437,5	1073,3
Mn	657,5	203,3	1357,5	276,7
Fe	95	186,7	185	203,3
Zn	50	20	220	20
Sr	32,5	3,3	35	0

В хвое деревьев сосны обыкновенной, произрастающих в с. Пески, по сравнению с заповедником отмечается повышенное содержание таких элементов, как магний (в 1,04 раза), марганец (в 1,4 раза), железо (в 1,1 раза) (табл. 2). Полученные нами результаты по содержанию натрия, алюминия, железа, марганца, цинка и стронция находятся в пределах значений, описанных другими авторами; уровень магния на двух исследуемых территориях оказался ниже, а кремния – выше установленных ранее в работе [18]. Данное обстоятельство можно рассматривать как особенность сосны обыкновенной, произрастающей в Хоперском государственном природном заповеднике.

#### **Оценка токсичности почв Хоперского государственного природного заповедника и с. Пески с использованием периодафний**

Как следует из таблицы 3, все почвенные образцы не оказывают острого токсического действия на периодафний. В связи с этим можно утверждать, что почвы на обследуемых территориях не являются токсичными.

#### **Флуктуирующая асимметрия листовой пластинки березы повислой на исследуемых территориях**

На основании изучения морфологических признаков листовой пластинки березы повислой (табл. 4) и в соответствии с балльной шкалой, состояние окружающей среды в Хоперском государственном природном заповеднике можно оценить как нормальное (условная норма), а в с. Пески отмечается существенное отклонение от нормы, что можно связать с загрязнением почвы тяжелыми металлами. Так, ранее в работе [19] была показана связь флуктуирующей асимметрии листовой пластинки с увеличением загрязнения почвы тяжелыми металлами (цинк, медь, свинец, кадмий и др.).

Стоит отметить, что показатели флуктуирующей асимметрии связаны с содержанием некоторых химических элементов в листовой пластинке (табл. 5). Так, интегральный показатель флуктуирующей асимметрии коррелирует с содержанием цинка, марганца и железа в листьях; признак «угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка» – с содержанием цинка, марганца, алюминия, кремния; признак «длина жилки второго порядка» – с содержанием марганца и железа; признаки «расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка» и «расстояние между концами этих же жилок» – с содержанием цинка. В связи с этим возможно утверждать, что отдельные поллютанты могут оказывать более выраженные эффекты на одни признаки асимметрии и не оказывать воздействия на другие. Как следствие, это приводит к тому, что вклад различных морфометрических признаков при определении показателя асимметрии отдельной листовой пластинки будет не равнозначен и будет зависеть от характера загрязнителя. Это подтверждается ранее выполненными исследованиями [20].

Наибольшее количество корреляционных связей признака «угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка» с содержанием некоторых элементов (цинка, марганца, алюминия, кремния) в листьях подтверждает ранее высказанное предположение, что этот показатель является

самым чувствительным к воздействию загрязнителей [20–22]. Отрицательные коэффициенты корреляции указывают на снижение значений показателя при увеличении уровня загрязнения.

Таблица 3

Оценка токсичности почв Хоперского государственного природного заповедника и с. Пески с использованием цеериодафний

Место проведения исследования	Кратность разбавления водных вытяжек, раз	№ повторности	Время биотестирования, сутки/часы		Оценка качества, вывод
			1 / 24	2 / 48	
			Гибель цеериодафний (шт.) в каждом образце		
			рН ед рН, t °С, O <sub>2</sub> мг/дм <sup>3</sup> пробы после эксперимента	рН ед рН, t °С, O <sub>2</sub> мг/дм <sup>3</sup> пробы после эксперимента	
Контроль	1	1	<b>0*</b>	<b>0</b>	Не оказывает острого токсического действия
			рН = 7,7 t = 23,4 O <sub>2</sub> = 7,8	рН = 7,7 t = 23,5 O <sub>2</sub> = 7,7	
Хоперский государственный природный заповедник	1	1	<b>0</b>	<b>0</b>	Не оказывает острого токсического действия
			рН = 7,4 t = 22,8 O <sub>2</sub> = 7,0	рН = 7,3 t = 23,5 O <sub>2</sub> = 7,1	
		2	<b>0</b>	<b>0</b>	
			рН = 7,3 t = 22,8 O <sub>2</sub> = 7,0	рН = 7,3 t = 23,4 O <sub>2</sub> = 7,1	
с. Пески	1	1	<b>0</b>	<b>0</b>	Не оказывает острого токсического действия
			рН = 7,4 t = 23,0 O <sub>2</sub> = 7,7	рН = 7,3 t = 23,4 O <sub>2</sub> = 7,3	
		2	<b>0</b>	<b>0</b>	
			рН = 7,4 t = 23,0 O <sub>2</sub> = 7,6	рН = 7,3 t = 23,5 O <sub>2</sub> = 7,5	

Примечание: 0\* – означает отсутствие гибели в 10 экспериментальных образцах.

Таблица 4  
Флуктуирующая асимметрия листовой пластинки березы повислой на исследуемых территориях

№ дерева	Интегральный показатель флуктуирующей асимметрии	
	Хоперский государственный природный заповедник	с. Пески
1	0,028±0,002	0,051±0,002
2	0,034± 0,002	0,042±0,003
3	0,039±0,002	0,056±0,002
4	0,023±0,002	0,058±0,002
Среднее значение ± ошибка среднего	0,031±0,001	0,051±0,001*

Примечание: \* – статистически значимые различия с показателями в Хоперском государственном природном заповеднике (P<0,01).

Таблица 5  
Корреляционные связи содержания некоторых химических элементов в листовой пластинки с ее морфологическими признаками у березы повислой (*Betula pendula* Roth)

Химический элемент	Морфологические признаки листовой пластинки					
	Интегральный показатель флуктуирующей асимметрии	Ширина левой и правой половинок листа	Длина жилки второго порядка	Расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка	Расстояние между концами этих же жилок	Угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка
Zn	0,869**	нет	нет	0,762*	0,667*	-0,673*
Mn	0,691*	нет	0,708*	нет	нет	-0,625*
Fe	0,649*	нет	0,738*	нет	нет	нет
Al	нет	нет	нет	нет	нет	-0,637*
Sr	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Si	нет	нет	нет	нет	нет	-0,643*
Na	нет	нет	нет	нет	нет	нет
Mg	нет	нет	нет	нет	нет	нет

Примечание: \* – коэффициент корреляции отличен от нуля (P<0,05); \*\* – коэффициент корреляции отличен от нуля (P<0,01).

По совокупности морфологических признаков листа и содержанию элементов в

растительном материале березы повислой исследуемые деревья были распределены по двум кластерам (рис. 1). Четкое разделение свидетельствует о разном уровне загрязнения на исследуемых территориях.

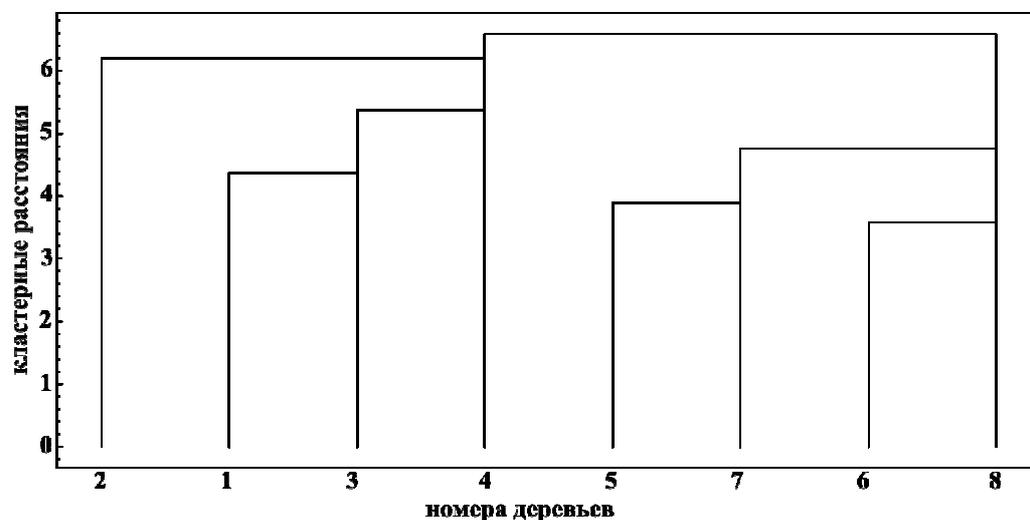


Рис. 1. Дендрограмма кластерных расстояний между деревьями на исследуемых территориях: 1–4 – деревья, произрастающие в с. Пески, 5–8 – деревья, произрастающие в Хоперском государственном природном заповеднике.

Факторный анализ позволил выявить систему из шести факторов, отражающих 98,56 % дисперсии признаков (табл. 6, рис. 2).

**Таблица 6**  
**Собственные значения и процент объясняемой дисперсии факторов**

Показатель	Фактор					
	1	2	3	4	5	6
Собственные значения	5,980	3,063	2,231	1,613	0,679	0,316
Дисперсия, %	42,46	21,75	15,84	11,45	4,823	2,243
Накопленная дисперсия, %	42,46	64,21	80,04	91,5	96,32	98,56

Из рисунка 3 и таблицы 7 следует, что исследуемые показатели образуют хорошо различимые группировки (исходные переменные проецируются на один из шести главных факторов), что позволяет интерпретировать результаты, не используя «вращение» факторов.

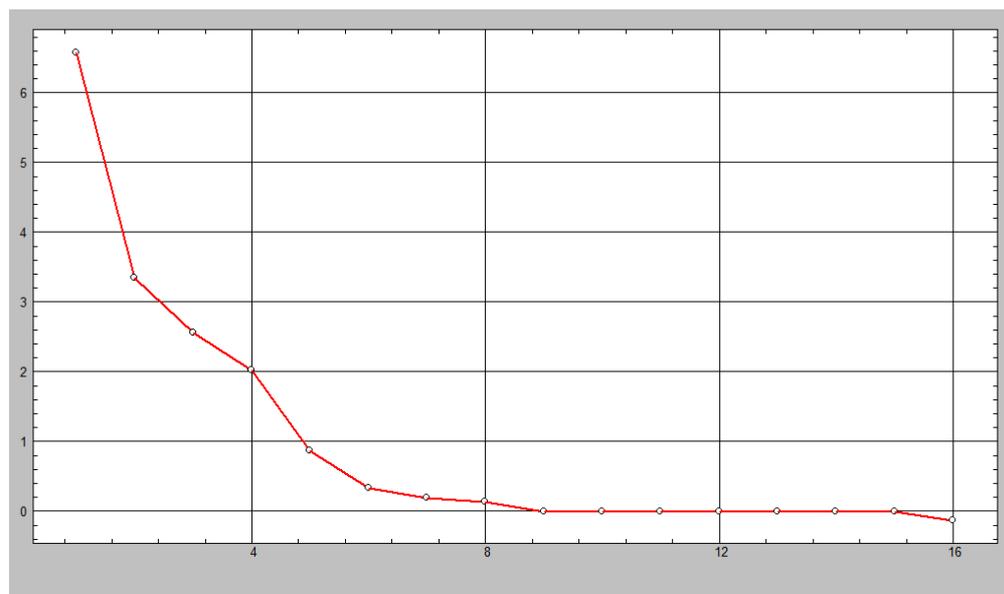


Рис. 2. График собственных значений факторов (ось Y) относительно номеров факторов (ось X).

В рамках проведенного анализа можно дать интерпретацию только 4 факторов, влияющих на характер изменения показателей морфологических признаков листовой пластинки березы повислой. Семантический смысл выделенных факторов позволяет сгруппировать показатели по наибольшим нагрузкам основных факторов.

К первому фактору относятся тяжелые металлы (цинк, марганец, железо), оказывающие максимальное влияние на морфологические признаки листовой пластинки.

Второй фактор – специфичность действия химических элементов на изучаемые морфологические признаки листовой пластинки.

Третий фактор – группа элементов (алюминий, кремний), оказывающих слабое влияние на морфологические признаки листовой пластинки.

Четвертый фактор – группа элементов (натрий, магний, стронций), не оказывающих влияния на морфологические признаки листовой пластинки.

Таким образом, в результате выполненных исследований степени загрязнения исследуемых территорий установлено, что в Хоперском государственном природном заповеднике загрязнение минимальное, с. Пески – выше среднего (существенное отклонение от нормы).

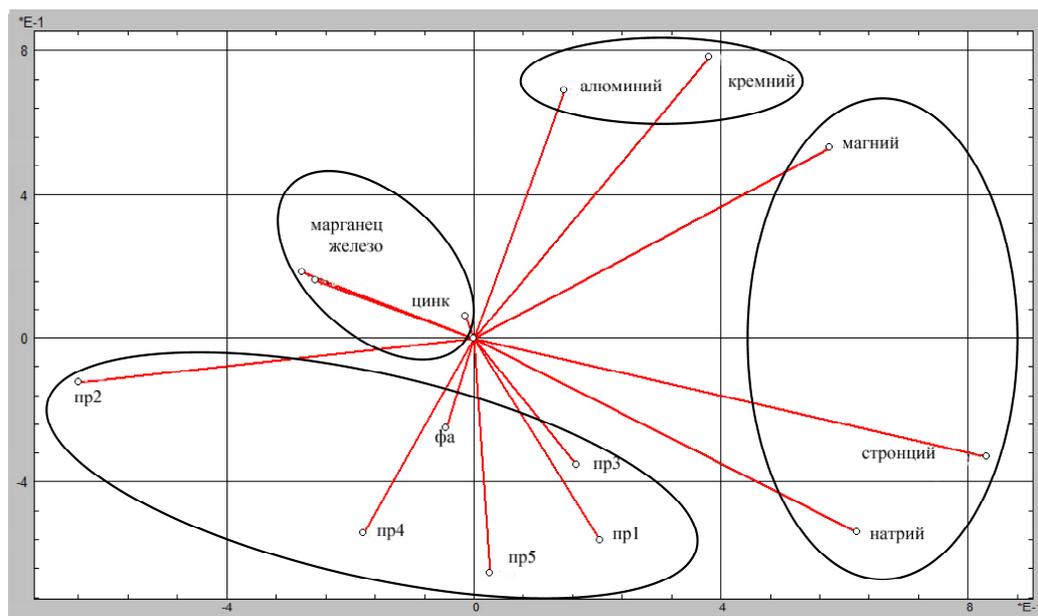


Рис. 3. Проекция нагрузок (ось X – 1 фактор, ось Y – 2 фактор) при факторном анализе: пр1 – ширина левой и правой половинок листа, пр2 – длина жилки второго порядка, пр3 – расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка, пр4 – расстояние между концами этих же жилок, пр5 – угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка, фа – интегральный показатель флуктуирующей асимметрии.

Таблица 7

Факторные нагрузки на исследуемые показатели до вращения

Признак	Фактор			
	1	2	3	4
1	2	3	4	5
Ширина левой и правой половинок листа	0,5475	-0,5588		
Длина жилки второго порядка	0,5419		-0,6391	
Расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка	0,8396			
Расстояние между концами этих же жилок	0,6768	-0,5401		
Угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка	-0,5949	-0,6508		
Интегральный показатель флуктуирующей асимметрии	0,9172			

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5
Zn	0,9735			
Mn	0,8596			
Fe	0,8452			
Si		0,7842		
Na		-0,5372	0,6208	-0,5468
Mg		0,532	0,5766	
Al	0,545	0,6891		
Sr			0,8308	

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Установлено содержание химических элементов в почве, листьях березы повислой и хвое сосны обыкновенной в Хоперском государственном природном заповеднике и на прилегающей к нему территории с. Пески. На территории с. Пески по сравнению с территорией Хоперского государственного природного заповедника выше содержание цинка, меди, мышьяка, олова. На территории заповедника выше содержание свинца, кобальта, никеля, хрома, ванадия и бария. В образцах листьев березы повислой, собранных на территории с. Пески, по сравнению с образцами с территории Хоперского государственного природного заповедника наблюдается более высокое содержание алюминия, марганца, железа, цинка, стронция, натрия, магния. В хвое деревьев сосны обыкновенной, произрастающих в с. Пески, по сравнению с заповедником отмечается повышенное содержание магния, марганца, железа. Содержание натрия, алюминия, железа, марганца, цинка и стронция находятся в пределах, описанных другими авторами, магния – оказалось ниже, а кремния – выше на двух исследуемых территориях.
2. Результаты испытаний на токсичность почвенных образцов с помощью цериодафний (*Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg) позволяют определить их как нетоксичные.
3. Общее состояние среды Хоперского государственного природного заповедника на основании изучения флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой можно оценить как нормальное, а на прилегающей территории с. Пески зафиксированы отклонения от нормы, свидетельствующие об антропогенном воздействии.
4. Показатели флуктуирующей асимметрии коррелируют с содержанием некоторых химических элементов в листовой пластинке. Показано, что отдельные химические элементы могут оказывать более выраженные эффекты на одни признаки асимметрии и не оказывать воздействие на другие. Наибольшее количество корреляционных связей признака «угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка» с содержанием цинка, марганца, алюминия, кремния в листьях связано с тем, что этот показатель является самым чувствительным к воздействию загрязнителей.

5. Методом факторного анализа выделены и интерпретированы факторы, оказывающие влияние на морфологические признаки листовой пластинки березы повислой.
6. Показано, что по совокупности показателей (морфологических признаков листовой пластинки, интегральному показателю флуктуирующей асимметрии и содержанию в листьях некоторых химических элементов) деревья березы повислой четко дифференцируются на произрастающие на территории Хоперского заповедника и с. Пески.
7. Полученные данные могут быть использованы в качестве фоновых для мониторинговых исследований в районе Хоперского государственного природного заповедника после начала промышленной разработки медно-никелевых месторождений в Новохоперском районе Воронежской области.

#### Список литературы

1. Поросенков Ю. В. Проблемы эколого-экономического анализа возможности разработки медно-никелевых руд в Новохоперском районе Воронежской области / Ю. В. Поросенков, Р. Е. Рогозина // Вестник ВГУ, серия: География. Геоэкология. – 2014. – № 4. – С. 12–17.
2. Олькова А. С. Биотестирование в научно-исследовательской и природоохранной практике России / А. С. Олькова // Успехи современной биологии. – 2014. – Т. 134, № 6. – С. 614–622.
3. Бачурина А. В. Оценка состояния окружающей среды по показателю флуктуирующей асимметрии / А. В. Бачурина, С. В. Бачурина // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2020. – № 56. – С. 98–103.
4. Использование показателя флуктуирующей асимметрии березы повислой для оценки ее состояния / С. В. Залесов, Б. О. Азбаев, Л. А. Белов [и др.] // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 5. – URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=14518> (дата обращения 14.12.2021).
5. Захаров В. Н. Здоровье среды: методика оценки / В. Н. Захаров, А. С. Баранов, В. И. Борисов [и др.]. – М.: Центр экологической политики России, 2000. – 68 с.
6. Бунькова Н. П. Оценка качества среды в городском лесопарке методом флуктуирующей асимметрии листьев берёзы повислой (*Betula pendula* Roth.) / Н. П. Бунькова, В. В. Абраменко // Леса России и хозяйство в них. – 2020. – № 1(72). – С. 54–64.
7. Оценка экологического состояния рекреационных зон г. Нижнего Новгорода по уровням загрязнения почв тяжелыми металлами и биоиндикационным показателям листьев *Betula pendula* Roth. / М. В. Сидоренко, В. П. Юнина, Е. А. Ерофеева [и др.] // Самарский научный вестник. – 2020. – Т. 9, № 1(30). – С. 88–92.
8. Стрельцов А. Б. Флуктуирующая асимметрия листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula* Roth.) как индикатора определения загрязняющей среды / А. Б. Стрельцов, А. А. Наумова, Т. А. Наумова // Международный журнал прикладных наук и технологий Integral. – 2021. – № 2–1. – С. 93–98.
9. Зарицкая Е. В. Альтернативные методы исследования при токсиколого-гигиенической оценке объектов производственной и окружающей среды / Е. В. Зарицкая, В. В. Шилов, Е. В. Полозова // Медицина труда и промышленная экология. – 2016. – № 6. – С. 17–20.
10. ФР 1.39.2007.03221 Биологические методы контроля. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости цериодафний. – М.: Акварос, 2007. – 56 с.
11. Калаева Е. А. Теоретические основы и практическое применение математической статистики в биологических исследованиях и образовании / Е. А. Калаева, В. Г. Артюхов, В. Н. Калаев. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2016. – 282 с.
12. Водяницкий Ю. Н. Тяжелые металлы и металлоиды в почвах / Ю. Н. Водяницкий. – М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева РАСХН, 2008. – 86 с.

13. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 г. № 2 «Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания». – 2021. – 469 с.
14. Дьякова Н. А. Эколого-гигиеническая оценка состояния почв антропогенных экосистем Воронежской области / Н. А. Дьякова, С. П. Гапонов, А. И. Сливкин // Известия КГТУ. – 2020. – № 59. – С. 61–72.
15. Титов А. Ф. Физиологические основы устойчивости растений к тяжелым металлам / А. Ф. Титов, В. В. Таланова, Н. И. Казнина. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2011. – 77 с.
16. Алексеев В. А. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов / В. А. Алексеев, А. В. Алексеев. – Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2013. – 380 с.
17. Титов А. Ф. Тяжелые металлы и растения / А. Ф. Титов, Н. И. Казнина, В. В. Таланова – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2014. – 194 с.
18. Белых О. А. Элементный состав хвои лесобразующих пород семейства сосновых (Pinaceae) на территории с накопленным экологическим ущербом (Южное Прибайкалье) / О. А. Белых, Е. В. Чупарина // Известия Байкальского государственного университета. – 2021. – Т. 31, № 1. – С. 103–108.
19. Жуйкова Т. В. Сравнительная оценка флуктуирующей асимметрии листовой пластинки *Betula pendula Roth* при разных методах фиксации растительного материала / Т. В. Жуйкова, А. С. Попова, Э. В. Мелинг // Самарский научный вестник. – 2020. – Т. 9, № 4. – С. 58–65.
20. Марченко С. И. Изменчивость морфометрических признаков листовых пластинок березы повислой при определении величины флуктуирующей асимметрии / С. И. Марченко // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2020. – № 58. – С. 100–104.
21. Биоиндикация загрязнения районов г. Воронежа по величине флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой / В. Н. Калаев, И. В. Игнатова, В. В. Третьякова [и др.] // Вестник ВГУ. Серия химия, биология, фармация. – 2011. – № 2. – С. 168–175.
22. Ерещенко О. В. Изменение морфометрических параметров листовой пластинки березы повислой *Betula pendula Roth*. в условиях Барнаула / О. В. Ерещенко, Л. П. Хлебцова // Известия Алтайского государственного университета. – 2013. – № 3–2 (79). – С. 26–30.

## **COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF THE STATE OF THE ENVIRONMENT IN THE KHOPER STATE NATURE RESERVE**

***Ignatova I. V.<sup>1</sup>, Kalaev V. N.<sup>1</sup>, Kaverina N. V.<sup>1</sup>, Kalaeva E. A.<sup>1</sup>, Kharchenko N. N.<sup>2</sup>***

<sup>1</sup>*Voronezh State University, Voronezh, Russia*

<sup>2</sup>*Voronezh State Forest Engineering University named after G. F. Morozov, Voronezh, Russia*  
*E-mail: irina777.84@list.ru*

Currently, in the Novokhopersky district of the Voronezh region, the issue of developing copper-nickel ore deposits in the immediate vicinity of a protected area of federal significance is being resolved, which may have an impact on the state of the environment, including pollution of the Khopersky state natural reserve. Therefore, it is of particular importance to carry out comprehensive studies of the state of the environment prior to the commencement of industrial nickel mining, which will subsequently make it possible to objectively assess possible environmental damage. To determine the degree of environmental pollution, not only quantitative chemical analysis is used, but also the

responses of living organisms. Quite often, woody plants are used for these purposes, which have been growing in the surveyed area for a long time. One of the methods for assessing the quality of the environment is to determine the level of fluctuating asymmetry of the leaf blade of silver birch (*Betula pendula* Roth). When conducting monitoring, it is not enough to establish the response of plant organisms to external influences; it is also necessary to conduct toxicological studies on animals. *Ceriodaphnia* (*Ceriodaphnia affinis* Lilljeborg) is most often used for these purposes. The purpose of the work is background monitoring of the state of the environment in the area of the Khoper State Nature Reserve before the start of work on the development of copper-nickel deposits. The research was carried out in the Khopersky State Nature Reserve (near the village of Varvarino (51°10'56.9"N 41°44'17.2"E)) and the adjacent territory (village of Peski, Povorinsky District (51°14'24.30"N 42°25 '59.2"E)). The objects of study were soil, leaves of silver birch (*Betula pendula* Roth) and needles of Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.). In both studied territories, an excess of MPC for antimony (1.3 times) is noted, in addition, in the soils of the village Peski found exceeding the MPC for arsenic (1.3 times). In samples from the territory of village Peski compared with samples from the Khopersky State Nature Reserve have a higher content of zinc, copper, arsenic, and tin. In samples of birch leaves collected in the territory of the village Peski, in comparison with samples from the territory of the Khopersky State Nature Reserve, there is an increased content of all the studied elements (aluminum - 1.3, manganese - 2.1, iron - 1.9, zinc - 4.4, strontium - 1.1 times, sodium - 1.3 times, magnesium - 1.2 times). In the needles of Scotch pine trees growing in the village Peski, in comparison with the reserve, there is an increased content of such elements as magnesium (1.04 times), manganese (1.4 times), iron (1.1 times). All soil samples do not have an acute toxic effect on *ceriodaphnia*. In this regard, it can be argued that the soils in the surveyed areas are not toxic. Based on the study of the morphological features of the leaf blade of silver birch and in accordance with the point scale, the state of the environment in the Khoper State Nature Reserve can be assessed as normal (conditional norm), and in the village Peski show a significant deviation from the norm, which can be associated with soil contamination with heavy metals. The integral index of fluctuating asymmetry correlates with the content of zinc, manganese, and iron in leaves; sign "the angle between the main vein and the second vein from the base of the leaf" - with the content of zinc, manganese, aluminum, silicon; the trait "length of the vein of the second order" - with the content of manganese and iron; signs "distance between the bases of the first and second veins of the second order" and "distance between the ends of the same veins" - with zinc content. In this regard, it is possible to argue that individual pollutants can have more pronounced effects on some signs of asymmetry and not affect others. As a consequence, this leads to the fact that the contribution of various morphometric features in determining the asymmetry index of an individual leaf blade will not be equivalent and will depend on the nature of the pollutant. The largest number of correlations of the trait "the angle between the main vein and the second vein from the base of the leaf of the second order" with the content of some elements (zinc, manganese, aluminum, silicon) in the leaves confirms the previously stated assumption that this indicator is the most sensitive to the effects of pollutants. Negative values of the correlation coefficients indicate a decrease in the values of the indicator with an increase

in the level of pollution. According to the totality of morphological features of the leaf and the content of elements in the plant material of the drooping birch, the studied trees were distributed into two clusters. A clear division indicates a different level of pollution in the study areas. Factor analysis made it possible to identify a system of six factors, reflecting 98.56 % of the dispersion of signs. Within the framework of the analysis carried out, it is possible to give an interpretation of only 4 factors that affect the nature of the change in the indicators of the fluctuating asymmetry of the leaf blade of silver birch. The semantic meaning of the selected factors allows us to group the indicators according to the greatest loads of the main factors. The first factor includes heavy metals (zinc, manganese, iron), which have the maximum effect on the fluctuating asymmetry of the leaf blade. The second factor is the specificity of the action of chemical elements on the studied parameters of the fluctuating asymmetry of the leaf blade. The third factor is a group of elements (aluminum, silicon) that have little effect on the fluctuating asymmetry. The fourth factor is a group of elements (sodium, magnesium, strontium) that do not affect the indicators of fluctuating asymmetry. Thus, as a result of the studies of the degree of pollution of the study areas, it was found that in the Khopersky State Nature Reserve, pollution is minimal, in village Peski – above average (significant deviation from the norm).

**Keywords:** Koper State Nature Reserve, fluctuating asymmetry, heavy metals.

#### References

1. Porosenkov Yu. V., Rogozin R. E. Problems of ecological and economic analysis of the possibility of developing copper-nickel ores in the Novokhopersk district of the Voronezh region, *Bulletin of VSU, series: Geography. Geoecology*, **4**, 12 (2014).
2. Olkova A. S. Biotesting in research and environmental practice in Russia, *Successes of modern biology*, **3** (134), 614 (2014).
3. Bachurina A. V., Bachurina S. V. Assessment of the state of the environment in terms of a fluctuating population, *Actual problems of the forest complex*, **56**, 98 (2020).
4. Zalesov S. V., Azbaev B. O., Belov L. A., Zalesova E. S., Opletaev A. S. Application of bird fluctuative asymmetry index for its condition estimation, *Modern problems of science and education*, 5 (2014), URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=14518> (accessed 14.12.2021)
5. Zakharov V. N., Baranov A. S., Borisov V. I., Valetsky A. V., Kryazheva N. G., Chistyakova E. K., Choubinishvili A. T. *Environmental health: assessment methodology*, 68 p. (Center for Environmental Policy of Russia, 2000).
6. Bun'kova N. P., Abramenko V. V. Assessment of the quality of the environment in the urban forest park using the method of fluctuating mass of leaves of drooping birch (*Betula pendula* Roth.), *Forests of Russia and the economy in them*, **1** (72), 54 (2020).
7. Sidorenko M. V., Yunina V. P., Erofeeva E. A., Savinov A. B., Kuznetsov M. D., Novozhilov D. A. Assessment of the ecological state of recreational areas in Nizhny Novgorod in terms of the level of soil loss by metal losses and bioindicative indicators of *Betula pendula* Roth leaves, *Samara Scientific Bulletin*, **1** (9), 88 (2020).
8. Streltsov A. B., Naumova A. A., Naumova T. A. Fluctuating aggregate of the leaf blade of the silver birch (*Betula pendula* Roth.) as an indicator of determining the polluting environment, *International Journal of Applied Sciences and Technologies Integral*, **2-1**, 93 (2021).
9. Zaritskaya E. V., Shilov V. V., Polozova E. V. Alternativnye metody issledovaniya pri toxico-hygienic assessment of industrial and environmental objects, *Occupational Medicine and Industrial Ecology*, **6**, 17 (2016).

10. FR 1.39.2007.03221 Biological methods of control. Methodology for determining the toxicity of water and water extracts from soils, sewage sludge, waste by mortality and changes in the fertility of ceriodaphnia, 56 p. (Akvaros, 2007).
11. Kalaeva E. A., Artyukhov V. G., Kalaev V. N. *Theoretical foundations and practical application of mathematical statistics in biological research and education: textbook*, 282 p. (Voronezh: Voronezh State University Publishing House, 2016).
12. Vodyanitsky Yu. N. *Heavy metals and metalloids in soils*, 86 p. (GNU Soil Institute. V. V. Dokuchaeva RAAS, 2008).
13. Decree of the Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation dated January 28, 2021 No. 2 "On the assessment of sanitary rules and norms SanPiN 1.2.3685-21 "Hygiene standards and requirements for high requirements for safety and (or) harmlessness for humans, the choice of habitat", 469 p. (2021).
14. Dyakova N. A., Gaponov S. P., Slivkin A. I. Ecological and hygienic assessment of the state of soils of anthropogenic ecosystems in the Voronezh region, *Izvestiya KSTU*, **59**, 61 (2020).
15. Titov A. F., Talanova V. V., Kaznina N. I. *Physiological bases of plant resistance to metal weight*, 77 p. (Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2011).
16. Alekseenko V. A., Alekseenko A. V. *Chemical elements in geochemical sources. Clarks of soils in residential landscapes*, 380 p. (Southern Federal University Publishing House, 2013)
17. Titov A. F., Kaznina N. I., Talanova V. V. *Heavy metals and plants*, 194 p. (Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, 2014).
18. Belykh O. A., Chuparin E. V. Elemental composition of needles of forest-forming species of the pine family (Pinaceae) in the territory with accumulated environmental damage (Southern Baikal region), *Proceedings of the Baikal State University*, **1** (31), 103 (2021).
19. Zhuikova T. V., Popova A. S., Meling E. V. Comparative evaluation of the fluctuating asymmetry of the leaf blade of *Betula pendula* Roth with different methods of plant material fixation, *Samara Scientific Bulletin*, **4** (9), 58 (2020).
20. Marchenko S. I. Variability of morphometric features of leaf blades of silver birch when determining the value of fluctuating asymmetry, *Actual problems of the forest complex*, **58**, 100 (2020).
21. Kalaev V. N., Ignatova I. V., Tretyakova V. V., Artyukhov V. G., Savko A. D. Bioindication of pollution in the regions of Voronezh by the value of fluctuating asymmetry of the leaf blade of silver birch, *Bulletin of VSU. Series chemistry, biology, pharmacy*, **2**, 168 (2011).
22. Ereshchenko O. V., Khlebova L. P. Changes in the morphometric parameters of the leaf blade of the silver birch *Betula pendula* Roth. in the conditions of Barnaul, *Proceedings of the Altai State University*, **3-2** (79), 26 (2013).