

- ный ресурс]. – Режим доступа: [www.videoecology.ru](http://www.videoecology.ru)
1. Филин В. А. Визуальная среда как социальный фактор. / В. А. Филин. – М.: Видеоэкология, 2006. – 212 с.
  2. Филин В. А. Цветовая среда города как экологический фактор. / В. А. Филин. // Колористика города (материалы Международного семинара). – М.: 1990. Т 1. – С. 55-60.
  3. Харків. Основні положення Генерального плану: [Електронний ресурс]. – Режим доступа: [www.city.kharkov.ua](http://www.city.kharkov.ua).

Надійшла до редколегії 06.03.2012

УДК 911+504.004

**А. Н. НЕКОС**, канд. геогр. наук, проф., **П. В. СЕМИБРАТОВА**, инж.  
*Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина*

**Е. В. ВЫСОЦКАЯ**, канд. техн. наук, доц., **А. П. ПОРВАН**, канд. техн. наук,  
**А. Л. ПЕТУХОВА**, студ.  
*Харьковский национальный университет радиотехники*

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛИЯНИЯ ПРИРОДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ КАЧЕСТВА РАСТИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

Рассматривается степень влияния природных и антропогенных факторов на содержание микроэлементов в продуктах питания растительного происхождения с помощью методов дисперсионного анализа. Установлены закономерности накопления микроэлементов в растительной продукции в зависимости от почвенного разнообразия, природной зоны, а также от уровня загрязнения поверхностных вод.

**Ключевые слова:** безопасность продуктов питания растительного происхождения, тяжелые металлы, природные и антропогенные факторы, дисперсионный анализ

#### Некос А. Н., Семібратова П. В., Висоцька О. В., Порван А. В., Петухова А. Л. ВПЛИВ ПРИРОДНИХ І АНТРОПОГЕННИХ ФАКТОРІВ НА ФОРМУВАННЯ ЯКОСТІ РОСЛИННОЇ ПРОДУКЦІЇ

Розглядається ступінь впливу природних і антропогенних факторів на вміст мікроелементів у продуктах харчування рослинного походження, за допомогою методів дисперсійного аналізу. Встановлено закономірності накопичення мікроелементів в рослинній продукції в залежності від ґрунтового різноманіття, природної зони, а також від рівня забруднення поверхневих вод.

**Ключові слова:** безпека продуктів харчування рослинного походження, важкі метали, природні та антропогенні фактори, дисперсійний аналіз

#### Nekos A., Semibratova P., Vysotska E., Porvan A., Petukhova A. EFFECT OF NATURAL AND ANTHROPOGENIC FACTORS ON THE FORMATION OF THE QUALITY OF PLANT PRODUCTS

We consider the degree of influence of natural and anthropogenic factors on the content of trace elements in foods of plant origin, using the methods of analysis of variance. The laws of accumulation of trace elements in plant products, depending on soil biodiversity, natural area, as well as the level of pollution of surface waters.

**Keywords:** food safety, plant, heavy metals, natural and human factors analysis of variance

### ВВЕДЕНИЕ

**Постановка проблемы.** Одной из актуальных проблем современного человека является экологическая безопасность всех сфер деятельности, окружающей среды (почва, воздух, вода), продуктов питания и т.д. Известно, что состояние здоровья человека зависит от качества воды, которую он потребляет, от качества воздуха, которым он дышит и от качества продуктов питания.

Последнее время население все больше задумывается над качественными харак-

теристиками продуктов питания растительного происхождения (овощи, фрукты, ягоды, травы, грибы) и это стало социальной проблемой и проблемой потребительского рынка. В наиболее развитых странах уже существуют торговые сети экологически чистых растительных продуктов питания, «зеленые» супер-маркеты и производители растительных продуктов питания уже не меньше, чем потребитель, заинтересованы в экологической безопасности пищевой продукции растительного происхождения.

В настоящее время в связи с повы-

@ Некос А. Н., Семібратова П. В., Висоцька Е. В., Порван А. П., Петухова А. Л., 2012

шением требований к качеству продуктов большее внимание уделяется изучению вопросов, связанных с загрязнением в т. ч. тяжелыми металлами, пищевых продуктов растительного происхождения (овощи, фрукты, грибы, ягоды), что представляет опасность для здоровья человека.

С географической точки зрения стало необходимым определить закономерности влияния природных и антропогенных факторов на показатели концентрации тяжелых металлов и Al в растительной продукции, что необходимо подтвердить методами статистического анализа. Для изучения подтверждения влияния и значимости факторов используются методы дисперсионного анализа, на результативный признак, который основан на принципе "отражения разнообразия значений результативного признака" и устанавливает силу влияния фактора(ов) в выборочных совокупностях. Проверка гипотезы о гомогенности дисперсий статистических популяций проводится с использованием теста Левине.

**Состояние изученности проблемы.** Проблема выращивания экологически чистой сельскохозяйственной продукции стала в последние годы более чем актуальна в связи с усилением техногенной нагрузки на окружающую среду. Трофогеографические

исследования [5] проводятся с целью изучения экологической безопасности почв и продуктов питания растительного происхождения, которые выращиваются на приусадебных участках населения в разных природных и социально-экономических условиях [2].

Одним из наиболее опасных загрязнителей окружающей среды являются тяжелые металлы, которые имеют свойство накапливаться в различных звеньях трофических цепей биосферы, а также влиять на их функционирование и организм человека. В трофических цепях органическое вещество закономерно уменьшается, а количество поступивших тяжелых металлов сохраняется, накапливается и концентрация их увеличивается. Поступая в организм человека с продуктами питания растительного происхождения, тяжелые металлы очень медленно выводятся, они способны накапливаться в различных органах, преимущественно в печени и почках, что со временем сказывается на состоянии здоровья человека [1].

**Целью работы** является определение влияния природных, социально-экономических (антропогенных) факторов на содержание микроэлементов в растительных продуктах питания с помощью дисперсионного анализа.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились на территории Украины в границах лесостепной и степной зон, на репрезентативных участках в т.ч. в Харьковской области. Для определения закономерностей накопления 9 тяжелых металлов Fe, Zn, Mn, Ni, Pb, Cu, Co, Cd и Al в растительных продуктах питания были использованы статистические методы, которые позволили определить влияние природных и социально-экономических (антропогенных) факторов на показатели концентрации микроэлементов в растительной продукции. Материалами для статистической обработки послужили данные концентрации химических элементов в 160 образцах растительной продукции (овощи, фрукты, ягоды, травы, орехи, грибы), выращенной на серых лесных почвах, черноземах оподзоленных и типичных и на черноземах обыкновенных в различных природных зонах.

Существует ряд статистических методов, позволяющих определить силу, направ-

ление, закономерности влияния факторов на результат в генеральной или выборочной совокупности.

Статистический анализ проводился в соответствии со следующим алгоритмом: 1. Проведение дисперсионного анализа с целью определения влияния почвенного разнообразия на химический состав растительной продукции; 2. Проведение дисперсионного анализа с целью определения влияния природной зоны на химический состав растительной продукции; 3. Проведение дисперсионного анализа с целью определения влияния уровня загрязнения поверхностных вод на химический состав растительной продукции.

Пусть для описания множества  $\Omega$  - концентрация тяжелых металлов в растительных продуктах питания, состоящего из  $n_k$  объектов  $x_1, x_2, \dots, x_{ik}$ , ( $i$  – элемент ( $i = 1, n_k$ )  $k$ -выборки

( $k = \overline{1, l}$ )), используется  $m=3$  признака, характеризующие варьирования фактора А:  $A_1, \dots, A_m$ . Каждому объекту  $x_{ik}$  ( $i = \overline{1, n_k}$ ) соответствует некоторое значение целевого признака  $A_0$ . Признаки  $A_j$  ( $j = \overline{1, m}$ ) измерены в порядковой шкале. Тогда для решения поставленной задачи множество объектов  $\Omega$  необходимо разбить на  $k_0$  подмножеств  $\Omega_p$  ( $p = \overline{1, k_0}$ ), таких что  $\Omega_p \cap \Omega_q = 0, \cup \Omega_p = \Omega$ .

В настоящем исследовании все значения были разделены на 10 групп ( $K_0=10$ ):  $\Omega_1$  – концентрация Fe,  $\Omega_2$  – концентрация Mn,  $\Omega_3$  – концентрация Zn,  $\Omega_4$  – концентрация Cu,  $\Omega_5$  – концентрация Ni,  $\Omega_6$  – концентрация Pb,  $\Omega_7$  – концентрация Al,  $\Omega_8$  – концентрация Co,  $\Omega_9$  – концентрация Cr,  $\Omega_{10}$  – концентрация Cd.

Тогда, для проведения первого этапа исследований необходимо изучить влияние фактора  $A_j^1$  – «Почвенное разнообразие», изменяющийся на  $j=3$  уровнях ( $A_1^1$  – серые лесные (лесостепь),  $A_2^1$  – черноземы оподзоленные и типичные (лесостепь),  $A_3^1$  – черноземы обыкновенные (степь) на  $\Omega_p$  откликов.

Гомогенность (однородность) дисперсии между выборками является одной из основных предпосылок для возможности

проведения дисперсионного анализа. Проверку гипотезы о гомогенности дисперсий статистических популяций можно провести с использованием теста Левине:

$$W = \frac{(N - m) \cdot \sum_{i=1}^k N_i \left( \overline{x}_i - Z_{..} \right)^2}{m - 1 \cdot \sum_{i=1}^k \sum_{k=1}^{N_i} \left( x_{ik} - Z_{ik} \right)^2}$$

$N$  – общее количество наблюдений во всех выборках;

$N_i$  – количество наблюдений в  $i$ -й группе,

$$Z_{ik} = \frac{1}{N_i} \sum_{i=1}^k \sum_{k=1}^{N_i} Z_{ik} \text{ – математическое}$$

$$\text{соотношение всех } Z_{ik} = \begin{cases} |x_{ik} - \bar{x}_k|; \\ |x_{ik} - \tilde{x}_k| \end{cases}$$

$$Z_{..} = \frac{1}{N_i} \sum_{k=1}^{N_i} Z_{ik} \text{ – математическое}$$

совпадение  $Z_{ik}$  для  $k$ -й выборки;

$\bar{x}_k$  – арифметическое среднее  $k$ -й выборки;

$\tilde{x}_k$  – медиана  $k$ -й выборки.

Если уровень значимости  $p$  теста Левине меньше 0.05, то полученная для выборок разница дисперсий маловероятно является результатом случайности процесса исследования. Одним из преимуществ теста Левине является то, что он не требует, чтобы данные были получены из нормально распределённой статистической популяции. Результаты проведения теста приведены в таблице 1, где  $W$  – значение теста Левине,

Таблица 1

**Критерий Левине проверки равенства дисперсий**

Химический элемент	$W$	$df1$	$df2$	$p$
Fe	3,997	2	267	0,019
Mn	3,277	2	267	0,039
Zn	3,823	2	267	0,023
Cu	3,940	2	267	0,021
Ni	9,076	2	267	0,001
Pb	0,353	2	267	0,003
Al	1,994	2	267	0,038
Co	4,906	2	267	0,008
Cr	7,830	2	267	0,096
Cd	4,774	2	267	0,089

$df1$  — уровень варьирования фактора А, равный  $c-1$  ( $c$  – количество уровней варьирования фактора А);  $df2$  — уровень варьирования отклика на фактор А,  $p$  – уровень значимости полученного значения критерия Левине [3].

Проведя анализ полученных результатов можно констатировать, что выборочные дисперсии в группах отличаются значимо. Исключение составляет два

показателя – Cr, Cd, для которых  $p > 0,05$ . Далее выполнили дисперсионный анализ по традиционной схеме [4].

Все результаты проведения дисперсионного анализа представлены в таблице 2 в виде оценки эффектов межгрупповых факторов, где

$$SSA = \sum_{k=1}^m n_k (\bar{x}_k - \bar{X})^2$$

Таблица 2

## Оценка эффектов межгрупповых факторов

Источник вариации	Зависимая переменная	Сумма квадратов, SS	Число степеней свободы, df	Средний квадрат, MS	F	p
Фактор А	Fe	16,213	2	8,106	0,148	0,862
	Mn	27,598	2	13,799	0,769	0,464
	Zn	58,982	2	29,491	2,484	0,085
	Cu	2,470	2	1,235	0,598	0,551
	Ni	1,473	2	0,736	1,653	0,193
	Pb	1,249	2	0,624	0,763	0,467
	Al	4,608	2	2,304	1,227	0,295
	Co	1,610	2	0,805	2,824	0,061
	Cr	0,573	2	0,286	3,531	0,031
	Cd	0,099	2	0,050	3,045	0,049
Случайные отклонения W	Fe	14579,627	267	54,605		
	Mn	4788,838	267	17,936		
	Zn	3169,445	267	11,871		
	Cu	551,285	267	2,065		
	Ni	118,945	267	0,445		
	Pb	218,541	267	0,819		
	Al	501,349	267	1,878		
	Co	76,127	267	0,285		
	Cr	21,655	267	0,081		
	Cd	4,359	267	0,016		

– межгрупповая сумма квадратов, которая равна сумме квадратов разностей между выборочным средним группы  $\bar{x}_k$  и общим средним  $\bar{X}$ , умноженным на объем выборки  $n_k$ ,

$$SSW = \sum_{i=1}^c \sum_{k=1}^m n_k (x_{ik} - \bar{x}_k)^2$$

– внутригрупповую сумму квадратов,

$$MSA = \frac{SSA}{c-1}$$

– межгрупповая дисперсии и

$$MSW = \frac{SSW}{n-c}$$

– внутригрупповую дисперсии ( $n$  –

общее количество откликов в исследуемой выборке). Для проверки гипотезы о вероятности влияния фактора А на отклик с уровнем значимости  $p$  вычислили статистику  $F$ -критерия, представляющего собой отношение двух дисперсий:

$$F = \frac{MSA}{MSW}$$

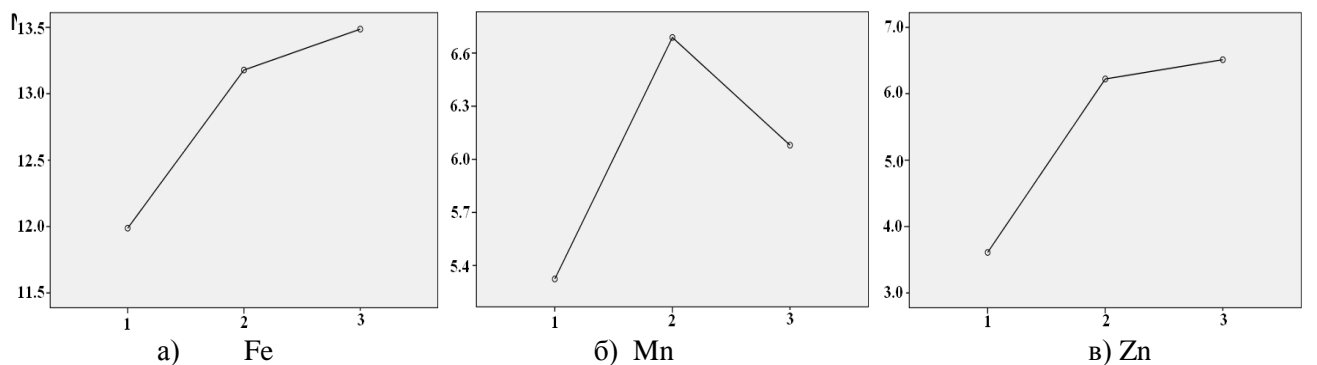
Анализ результатов показал значимое влияние фактора «Почва» на содержание Cr, Cd и незначимое на содержание Fe, Mn, Zn, Cu, Ni, Pb, Al, Co.

На рисунках 1-4 изображены зависимости среднего гармонического значения концентрации микроэлементов в продуктах питания растительного происхождения от поч-

венного різнообразия, где по оси абсцисс – категориальная переменная, соответствующая уровням варьирования фактора «Почва» (1 – серые лесные (лесостепь), 2 – черноземы оподзоленные и типичные (лесостепь), 3 – черноземы обыкновенные (степь), по оси

ординат – среднее гармоническое значение концентрации металла в растительной продукции (мг/кг).

Как видно из рисунка 1, среднее гармоническое значение концентрации Fe (12,0

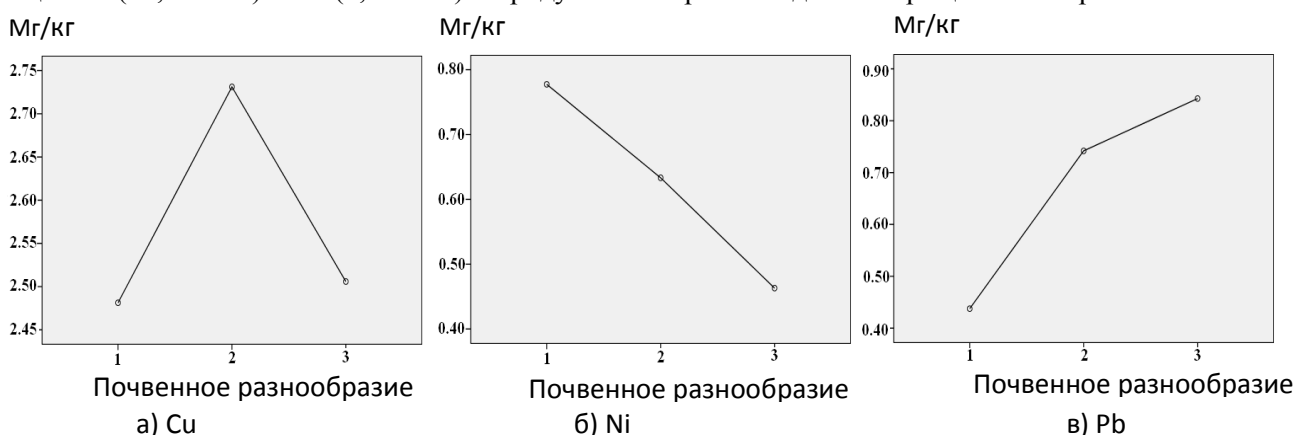


**Рис. 1** – Зависимость среднего гармонического значения концентрации Fe (а), Mn (б), Zn (в) (мг/кг) в продуктах питания растительного происхождения от фактора «Почвенное разнообразие»

мг/кг), Mn (5,4 мг/кг) и Zn (3,5 мг/кг) в растительных продуктах питания, выращенных на серых лесных почвах (лесостепь) наименьшее. Концентрация Fe (13,2 мг/кг), Mn (6,8 мг/кг) и Zn (6,0 мг/кг) в растительных продуктах, выращенных на черноземах оподзоленных и типичных (лесостепь), закономерно увеличивается (Fe на 10 %, Mn на 21 %, Zn более чем на 40 %). Концентрация Fe (13,5 мг/кг) и Zn (6,3 мг/кг) в продук-

тах растительного происхождения выращенных на черноземах обыкновенных (степь) возрастает незначительно (менее чем на 3-5 %), а концентрация Mn (6,0 мг/кг) уменьшается (на 12 %), по сравнению с черноземами оподзоленными типичными.

На представленных зависимостях рис. 2 видно, что среднее гармоническое значение концентрации Cu в продуктах растительного происхождения выращенных на различных



**Рис. 2** – Зависимость среднего гармонического значения концентрации Cu (а), Ni (б), Pb (в) (мг/кг) в продуктах питания растительного происхождения от фактора «Почвенное разнообразие»

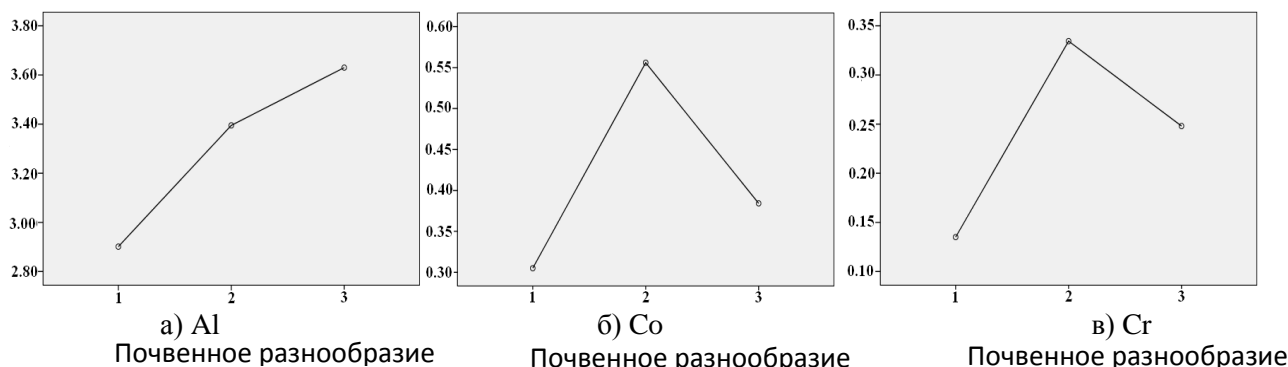
почвах не значительно колеблется от 1,5 до 10 %.

Концентрация Ni наиболее высокая в растительных продуктах, выращенных на серых лесных почвах (0,78 мг/кг) (северная

часть лесостепной зоны) закономерно уменьшается к югу и в черноземах оподзоленных и типичных составляет 0,65 мг/кг (лесостепь), а в черноземах обыкновенных 0,55 мг/кг (степь).

Концентрація же Pb в продуктах харчування наоберот – закономірно збільшується к югу. Концентрація мікроелементів в рослинній продукції вирощеної на сірих лісних ґрунтах (північна частина лісостепі), становить 0,45 мг/кг і значно (до 40 %) збільшується в рослинній про-

дукції, вирощеної на чорноземах оподзолюваних і типових (лісостепа) 0,75 мг/кг. Концентрація Pb в рослинній продукції, вирощеної на чорноземах звичайних (степа), становить 0,85 мг/кг, що практично в 1,5 – 2 рази вище, ніж в продукції лісостепі.



**Рис. 3** – Зависимость среднего гармонического значения концентрации Al (а), Co (б), Cr (в) (мг/кг) в продуктах питания растительного происхождения от фактора «Почвенное разнообразие»

Зависимости, представленные на рис. 3 демонстрируют, что концентрация Al в растительной продукции, выращенной на серых лесных почвах (северная часть лесостепной зоны), составляет 2,75 мг/кг и затем закономерно увеличивается к югу: в растительной продукции, выращенной на черноземах оподзоленных и типичных уже составляет 3,40 мг/кг (лисостепа), а на черноземах обычных - 3,60 мг/кг (степа). Разница концентраций химических элементов в зависимости от почвенного разнообразия составляет 1,2 – 1,3 раза.

Зависимости для Co (рис. 3б) и Cr (рис. 3в) демонстрируют практически одинаковую динамику концентрации этих микроэлементов в продуктах питания растительного происхождения в зависимости от почвенного разнообразия. Концентрация Co в растительной продукции, выращенной на серых лесных почвах (северная часть лесостепи) составляет 0,30 мг/кг, а Cr – 0,13 мг/кг. Концентрация Co в растительной продукции, выращенной на черноземах оподзоленных и типичных (лисостепа) – 0,55 мг/кг, Cr – 0,33 мг/кг. В растительной продукции, выращенной на черноземах обычных (степа), концентрация Co и Cr уменьшается и равна 0,40 мг/кг и 0,25 мг/кг соответственно (что составляет 25-28 %).

Концентрация Cd в продуктах растительного происхождения, выращенных на

серых лесных почвах (северная часть лесостепной зоны) составляет 0,07 мг/кг и возрастает практически в 2 раза до 0,13 мг/кг в растительной продукции, выращенной на черноземах оподзоленных и типичных (лисостепа). А концентрация Cd в продуктах растительного происхождения, выращенных на черноземах обычных (степа), вновь уменьшается и составляет 0,085 мг/кг, что в 1,5 раза ниже, чем в продукции с черноземов оподзоленных и типичных.

Таким образом, каждой точке на графике соответствует некоторый показатель среднего гармонического значения концентрации микроэлемента в растительной продукции. Точка со значением характеризует наибольшую тенденцию к накоплению микроэлементов. Так, из полученных графиков видно, что наибольшей тенденцией к накоплению Ni в растительных продуктах питания обладают серые лесные почвы (северная часть лесостепи); к накоплению Mn, Cu, Co, Cr, Cd – черноземы оподзоленные и типичные (лисостепа); Fe, Zn, Pb, Al – черноземы обычные (степа).

При проведении второго этапа исследования исследуемым фактором  $A_j^2$  является «Природная зона», изменяющаяся на 2-х уровнях:  $A_1^2$  – лисостепа;  $A_2^2$  – степа.

Схема проведения исследования и анализ полученных результатов аналогична



**Рис. 4** – Залежність середнього гармонічного значення концентрації Cd (мг/кг) в продуктах питания растительного происхождения от фактора «Почвенное разнообразие»

первому случаю. В таблиці 3 представлені результати проведення теста Левене.

Полученний результат свідчить про те, що виборочні дисперсії в групах відрізняються не значимо. Виключення складають Cu, Pb, Cr, для яких  $p < 0,05$ . Результати проведення дисперсійного аналізу показують достовірно значиме впливання фактора «Природная зона» на вміст Pb і значиме впливання на вміст Zn в рослинних продуктах пита-

ння. Але, на жаль, не виявлено значимого впливання фактора «Природная зона» на концентрацію Fe, Mn, Cu, Ni, Al, Co, Cr, Cd в продуктах питания растительного происхождения. На рисунках 5 – 8 представлені залежності середнього гармонічного значення концентрації мікроелементів в продуктах питания от фактора «Природная зона», де по осі абсцисс – категоріальна змінна «Природная зона» (1 – лісостепна, 2 – степна), по осі ординат –

**Таблиця 3**

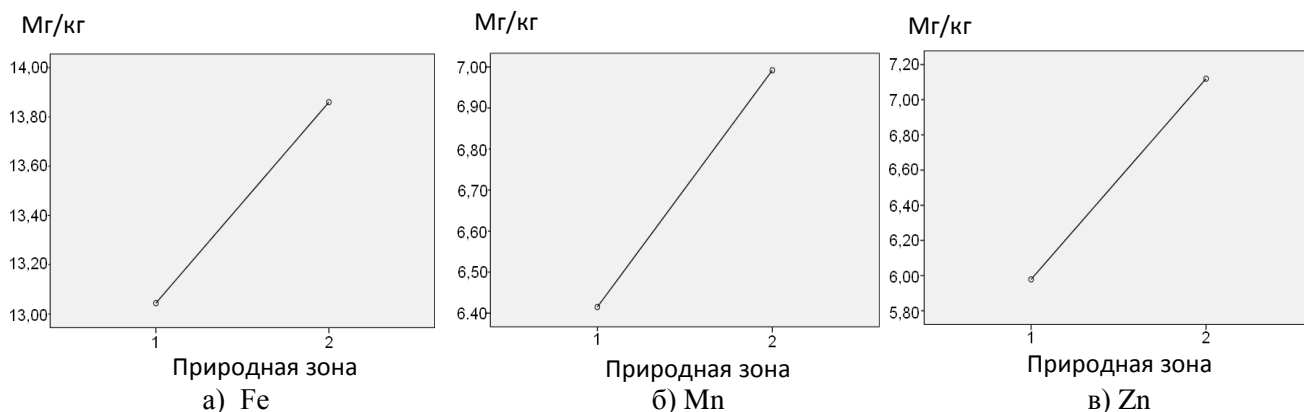
#### Критерій Левіне перевірки рівності дисперсій

Хімічний елемент	W	df1	df2	p
Fe	2,659	1	268	0,004
Mn	2,311	1	268	0,030
Zn	1,452	1	268	0,229
Cu	,018	1	268	0,002
Ni	2,964	1	268	0,056
Pb	51,090	1	268	0,061
Al	4,347	1	268	0,038
Co	1,252	1	268	0,044
Cr	2,829	1	268	0,024
Cd	7,548	1	268	0,006

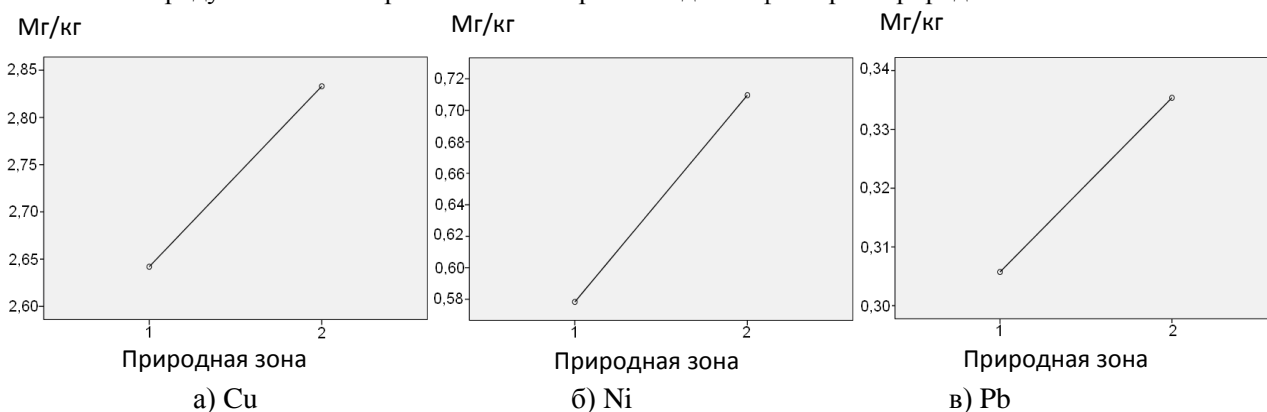
середнє гармонічне значення концентрації хімічного елемента в рослинних продуктах питания.

Рисунок 5 свідчить про те, що концентрація Fe (13,80 мг/кг), Mn (7,0 мг/кг) і Zn (7,15 мг/кг) в рослинній продукції, вирощеної в степній зоні більше, ніж концентрація Fe (13,0 мг/кг), Mn (6,40 мг/кг) і Zn (6,0 мг/кг) в рослинній продукції вирощеної в лісостепній зоні, що становить різницю по Fe 6 %, Mn – 9 %, Zn – 17 %. Концентрація Cu (2,83 мг/кг), Ni (0,72 мг/кг) і Pb (0,33 мг/кг) в продуктах питания растительного происхождения, вирощеної в степній природній зоні, вище на 0,03-0,18 мг/кг концентрації Cu (2,65 мг/кг), Ni (0,58 мг/кг) і Pb (0,30 мг/кг) в продуктах питания растительного происхождения, вирощених в лісостепній природній зоні.

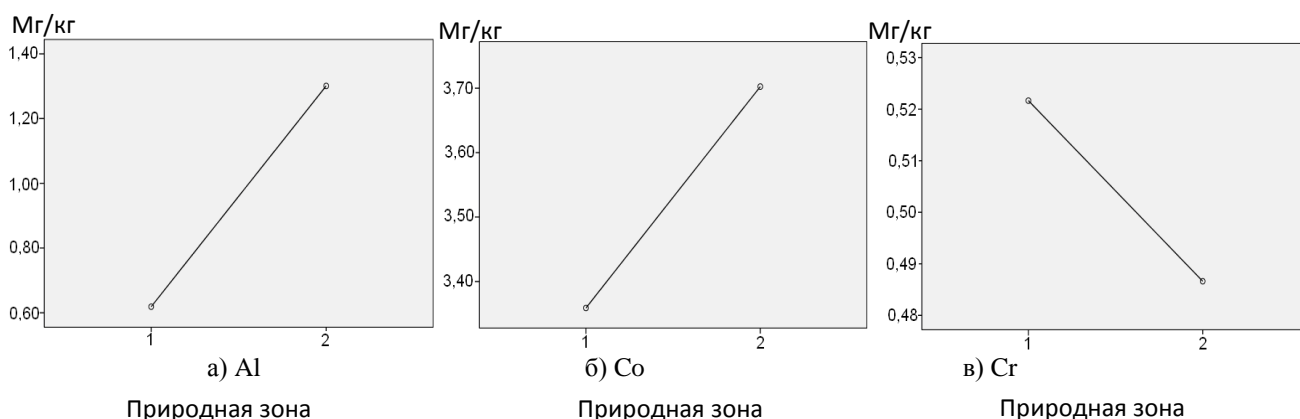
Як видно з рисунка 7 значно більше накопичуються в рослинній продукції, вирощеної в степній природній зоні Al (1,30 мг/кг) і Co (3,70 мг/кг), ніж в лісостепній – Al – 0,62 мг/кг і Co – 3,35. Тут слід відзначити, що концентрація Al збільшується к югу в степі більше ніж в



**Рис. 5** – Зависимость среднего гармонического значения концентрации Fe (а), Mn (б), Zn (в) (мг/кг) в продуктах питания растительного происхождения фактора «Природная зона»



**Рис. 6** – Зависимость среднего гармонического значения концентрации Cu (а), Ni (б), Pb (в) (мг/кг) в продуктах питания растительного происхождения от фактора «Природная зона»



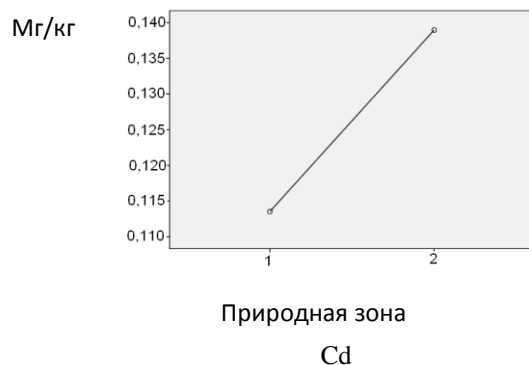
**Рис. 7** – Зависимость среднего гармонического значения концентрации Al (а), Co (б), Cr (в) (мг/кг) в продуктах питания растительного происхождения от фактора «Природная зона»

2 раза. Концентрация Cr имеет противоположную тенденцию – в лесостепной зоне она составляет 0,52 мг/кг, что на 0,03 мг/кг больше, чем в продукции, выращенной в степи.

Рисунок 8 свидетельствует о том, что концентрация Cd в растительных продуктах степной и лесостепной природных зонах 0,14 мг/кг и 0,113 мг/кг соответственно, отличается незначительно.

Полученные значения показывают, что тенденция к накоплению в растительных продуктах питания Fe, Zn, Mn, Ni, Pb, Al, Cu, Co, Cd проявляется выше в степной природной зоне (точка с наибольшим значением среднего гармонического значения на уровне категориальной переменной 2 – «степная природная зона»). Исключение составляет Cr, концентрация которого в продуктах питания растительного происхожде-





**Рис. 8** – Залежність середнього гармонічного значення концентрації Cd (мг/кг) в продуктах питания растительного происхождения фактора «Природная зона»

ня вище в лесостепной природной зоне (рис. 7 (в)).

На третьем этапе исследования фактором  $A_j^3$  был «Уровень загрязнения поверхностных вод», изменяющийся на 4-х уровнях:  $A_1^3$  – незначительный;  $A_2^3$  – относительно незначительный;  $A_3^3$  – относительно значительный;  $A_4^3$  – значительный.

Схема проведения третьего этапа исследования и анализа результатов аналогична первому и второму исследованиям. В таблице 4 представлены результаты проведения теста Левине.

Полученный результат свидетельствует о том, что выборочные дисперсии в группах отличаются незначимо для Fe, Al, Cr, Cd. Для остальных металлов выборочные дисперсии в группах отличаются значимо ( $p > 0,05$ ).

**Таблица 4**

#### Критерий Левине проверки равенства дисперсий

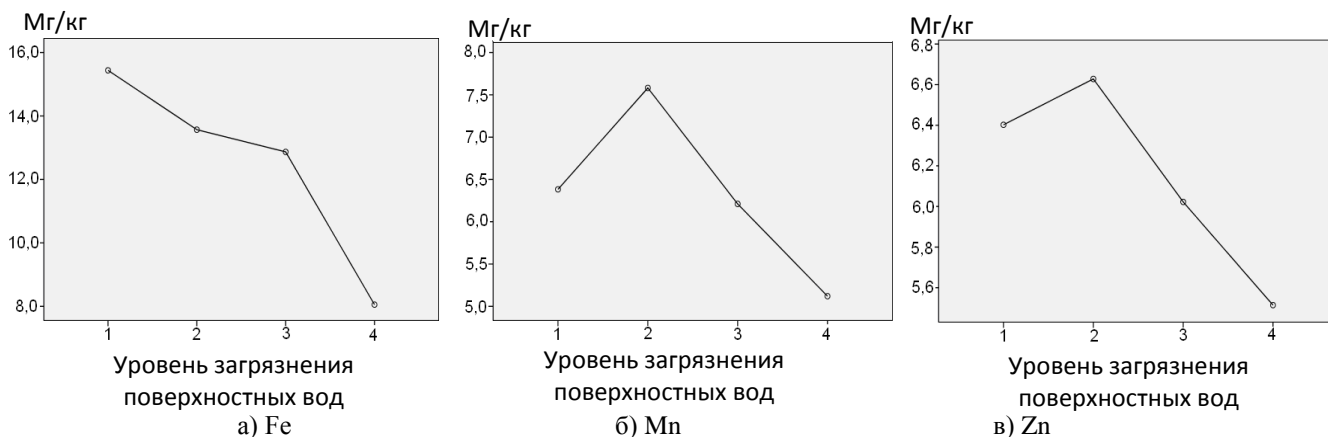
Исследуемый металл	W	df1	df2	p
Fe	2,408	3	266	0,068
Mn	1,020	3	266	0,034
Zn	2,449	3	266	0,044
Cu	1,746	3	266	0,008
Ni	4,687	3	266	0,003
Pb	2,085	3	266	0,002
Al	3,621	3	266	0,084
Co	5,352	3	266	0,001
Cr	12,388	3	266	0,061
Cd	6,717	3	266	0,051

Результаты проведения дисперсионного анализа показывают значимое влияние фактора «Уровня загрязнения поверхностных вод» на концентрацию в продуктах питания растительного происхождения Fe, Al, Cr, Cd и незначимое влияние оказывает загрязнение поверхностных вод на содержание Mn, Cu, Ni, Co, Pb, Zn.

На рисунках 9 – 12 приведены зависимости среднего гармонического значения концентрации микроэлементов в продуктах питания растительного происхождения от фактора «Уровень загрязнения

поверхностных вод», где по оси абсцисс – категориальная переменная фактора  $A_j^3$  «Загрязнение поверхностных вод» (1 – незначительный, 2 – относительно незначительный, 3 – относительно значительный, 4 – значительный), по оси ординат – среднее гармоническое значение концентрации металла в растительной продукции (мг/кг).

Рисунок 9 свидетельствует о высокой концентрации Fe (15,7 мг/кг) в растительной продукции при условии *незначительного* загрязнения поверхностных вод.



**Рис. 9** – Зависимость среднего гармонического значения концентрации Fe (а), Mn (б), Zn (в) (мг/кг) в продуктах питания растительного происхождения от фактора «Уровень загрязнения поверхностных вод»

Самая низкая концентрация Fe (8,0 мг/кг) наблюдается при условии *значительного* загрязнения поверхностных вод. В этом случае можно предположить, что мощный поверхностный сток, с которым загрязнения попадают в поверхностные воды, выносит в значительном количестве Fe из почвы и соответственно он не накапливается в растительной продукции.

Такие химические элементы как Mn (7,5 мг/кг) и Zn (6,6 мг/кг) способны накапливаться в растительной продукции при условии *относительно незначительного* загрязнения поверхностных вод. Низкая концентрация Mn (5,0 мг/кг) и Zn (5,5 мг/кг) в продуктах растительного происхождения наблюдается при условии *значительного* загрязнения поверхностных вод. Здесь наблюдаются аналогичные тенденции, что и с Fe.

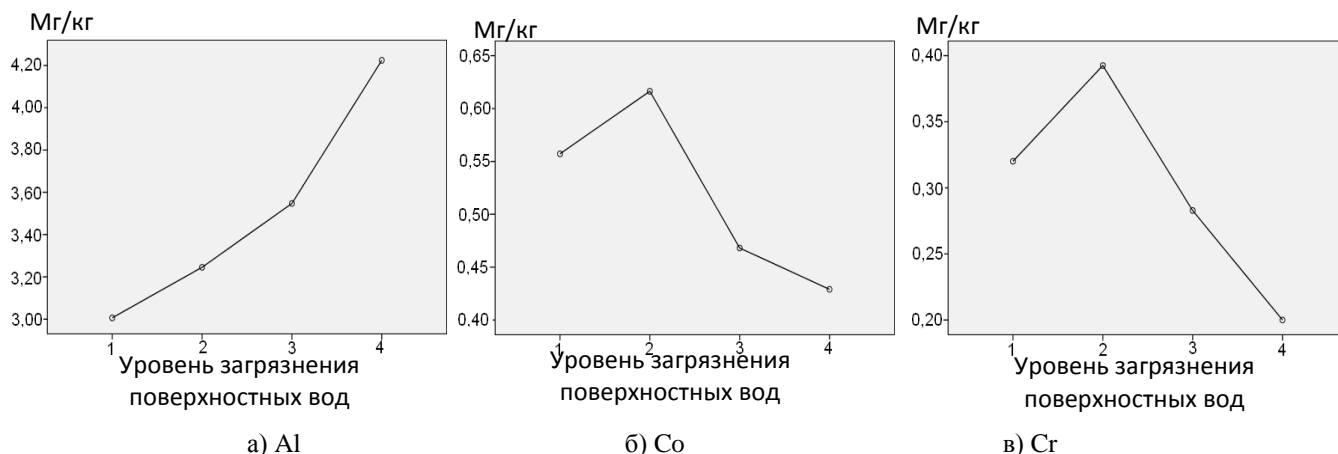


**Рис. 10** – Зависимость среднего гармонического значения концентрации Cu (а), Ni (б), Pb (в) (мг/кг) в продуктах питания растительного происхождения от фактора «Уровень загрязнения поверхностных вод»

Как видно из рисунка 10 Cu (2,50 мг/кг) меньше всего накапливается при условии *относительно незначительного* загрязнения поверхностных вод, а больше всего (2,95 мг/кг) при условии *значительного* загрязнения поверхностных вод.

Химический элемент Ni способен больше всего (0,65 мг/кг) накапливаться в продуктах растительного происхождения при условии *относительно значительного*

загрязнения поверхностных вод, меньше всего Ni (0,40 мг/кг) накапливается в растительной продукции в условиях *значительного* загрязнения поверхностных вод. Тенденции концентрации Ni в растительных продуктах схожи с Fe, Mn и Zn. Это же можно сказать и о Pb. Он больше всего (0,80 мг/кг) накапливается в растительной продукции при условии *относительно незначительного* загрязнения поверхностных вод, а меньше



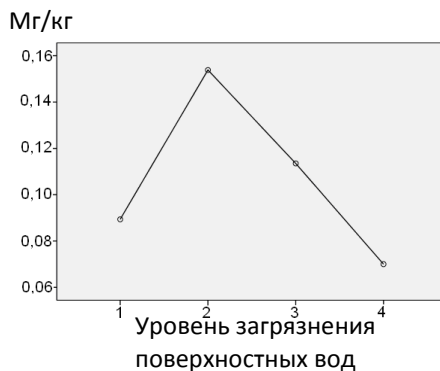
**Рис. 11** – Зависимость среднего гармонического значения концентрации Al (а), Co (б), Cr (в) (мг/кг) в продуктах питания растительного происхождения от фактора «Уровень загрязнения поверхностных вод»

всего (0,55 мг/кг) Pb накапливается при условии *значительно* загрязнения поверхностных вод.

Самая низкая концентрация Al (3,0 мг/кг) в продуктах растительного происхождения наблюдается в условиях *незначительного* загрязнения поверхностных вод, способность к интенсивному накоплению Al (4,20 мг/кг) в растительной продукции

наблюдается при условии *значительного* загрязнения поверхностных вод.

Co (0,62 мг/кг) и Cr (0,40 мг/кг) активно накапливаются в растительной продукции при условии *относительно незначительного* загрязнения поверхностных вод, меньше всего Co (0,45 мг/кг) и Cr (0,20 мг/кг) накапливаются при условии *значительного* загрязнения поверхностных вод.



Cd

**Рис. 12** – Зависимость среднего гармонического значения концентрации Cd (мг/кг) в продуктах питания растительного происхождения от фактора «Уровень загрязнения поверхностных вод»

Способность Cd к накоплению в продуктах растительного происхождения высокая (0,15 мг/кг) при условии *относительно незначительного* уровня загрязнения по-

верхностных вод. Меньше всего Cd (0,07 мг/кг) накапливается в растительной продукции при условии *значительного* загрязнения поверхностных вод.

## ВЫВОДЫ

Таким образом, с помощью дисперсионного метода установлены закономерности накопления микроэлементов в растительной продукции в зависимости от поч-

венного разнообразия, природной зоны, а также от уровня загрязнения поверхностных вод.

В зависимости от почвенного

разнообразия было установлено:

- наибольшая способность к накоплению Ni в продуктах растительного происхождения проявляется при их выращивании на серых лесных почвах;
- растительной продукции больше всего накапливается Mn, Cu, Co, Cr, Cd на черноземах оподзоленных и типичных в отличие от черноземов обыкновенных и серых лесных.
- Fe, Zn, Pb и Al могут активно накапливаться при условии выращивания растительной продукции на черноземах обыкновенных.

В зависимости от влияния природной зоны на химический состав растительной продукции было установлено, что в продуктах растительного происхождения, выращенных в степной природной зоне, активнее, чем в лесостепной зоне накапливаются Fe, Zn, Mn, Ni, Pb, Al, Cu, Co, Cd. Накопление Cr в растительной продукции ярко выражено в лесостепной зоне.

В зависимости от уровня загрязнения поверхностных вод:

- Fe активно накапливается при условии незначительного загрязнения поверхностных вод;
- Mn, Co, Cd и Cr активно накапливаются в продуктах растительного происхождения в условиях относительно незначительного загрязнения поверхностных вод;
- Zn, Ni, Pb накапливаются в растительной продукции при условии относительно значительного загрязнения поверхностных вод;

Al и Cu активнее всего накапливаются в растительной продукции в условиях значительного загрязнения поверхностных вод.

В целом, значительное загрязнение поверхностных вод говорит о том, что химические элементы с поверхностным стоком вымываются из почв, что в свою очередь способствует снижению показателей транслокации и концентрации микроэлементов в растительной продукции, выращенной на этих почвах.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Загрязнение воздуха и жизнь растений/ Под ред. М. Трешоу. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 535 с.
2. Некос А. Н. Трофогеографія: сучасні дослідження та перспективи розвитку. (результати дисперсійного аналізу впливу природних факторів на хімічний склад рослинної продукції) / А. Н. Некос, О. В. Висоцька, А. П. Порван, П. В. Семибратова // Вісник Чернівецького національного університету. Секція географія. – Чернівці: Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича. – 2012 р. (у друку).
3. Орлова И. В. Многомерный статистический анализ в экономических задачах: компьютерное моделирование в SPSS. / И. В. Орлова, Н. А. Концевая, В. Турундаевский. – М.: Вузовский учеб. 2009. – 320 с.
4. Таганов Д. SPSS: статистический анализ в маркетинговых исследованиях. / Д. Таганов. – СПб: «Питер», 2005. – 192 с.
5. Некос А. Н. Трофогеографія – місце у системі географічних наук./ А. Н. Некос // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского. Сер.: География – Симферополь: Таврический национальный университет имени В. И. Вернадского, 2008. – Т. 21 (60). - №2. – С. 176 – 182.

Надійшла до редколегії 22.02.2012

