

## ХИМИЯ

### ПОЧВ

УДК543.420

# ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВАЛОВОГО СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ЧЕРНОЗЕМАХ

© 2004 г. Ф. А. Чмиленко, Н. М. Смитюк

*Химический факультет Днепропетровского национального университета,  
49050, Украина, г. Днепропетровск, ул. Научная, 13*

Поступила в редакцию 31.05.2002 г.

Ультразвук использован на стадии пробоподготовки образцов чернозема обыкновенного при атомно-абсорбционном определении валового содержания Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb и Zn. Описан новый подход к анализу почв, в котором подобраны оптимальные параметры ультразвукового воздействия (частота, интенсивность и продолжительность обработки), способствующие максимальному извлечению определяемых элементов в раствор. Разработана методика определения валового содержания тяжелых металлов в черноземе с использованием комбинированных схем разложения пробы, включающих ультразвуковую обработку и кипячение с кислотами.

## ВВЕДЕНИЕ

О загрязненности почв тяжелыми металлами при проведении мониторинговых исследований можно судить на основании определения их валового содержания. Поступление металлов в почву с отходами жизнедеятельности человека зачастую превалирует над их геохимическим фоном [2]. Почвы способны удерживать и накапливать элементы как в виде неорганических соединений, так и связанных с органической составляющей - гумусом. Изменение экологической обстановки может привести к смещению баланса между подвижной и нерастворимой частями валового содержания тяжелых металлов, что негативно скажется на всех компонентах отдельной биосистемы.

В практике агрохимического анализа используют различные методики полного разложения почвенных образцов, самой распространенной из которых является кипячение с кислотами или их смесями [8,10]. Почва - сложная для анализа система, некоторые компоненты которой разрушаются только лишь при создании особых условий: повышенное давление (разложение в "автоклавах), высокая температура (сплавление со щелочами), агрессивные среды (смесь сильных окислителей). Поэтому обычным кипячением с кислотами невозможно добиться полного разложения проб почвы. Использование ультразвука наряду с термической обработкой кислотами имеет ряд преимуществ: диспергированием почвы [6,11,12,14], за счет которого увеличивается поверхность соприкосновения пробы с растворителем; интенсивное перемешивание гетерогенной системы; протекание реакций, инициирующих окислительно-восстановительные процессы в системе.

Ранее были рассмотрены варианты использования ультразвука для перевода тяжелых металлов из почвы, растений и минеральных удобрений в раствор, при этом не исследовалось влияние изменения параметров ультразвука на выход элементов в раствор [1,3-5,9]. Известно [13], что для получения почвенных вытяжек из чернозема обыкновенного действием ультразвука предпочтительнее использование низких частот, что способствует более интенсивному протеканию массообменных процессов на поверхности порошкообразных проб при их растворении. В работе изучено влияние интенсивности, частоты и продолжительности ультразвукового воздействия на изменение концентрации Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb и Zn в анализируемых растворах при проведении валового анализа почв.

## ЭКСПЕРИМЕНТ

Полное кислотное разложение чернозема обыкновенного по агрохимическим методикам проводили смесями кислот: HF и  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (1 : 1); HCl и  $\text{HNO}_3$  (3 : 1);  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , и  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (1 : 2 : 1) с неднократной обработкой этими смесями или отдельными кислотами. При использовании смеси азотной и соляной кислот в соотношении (3 : 1) - "царской водки" (ЦВ) зафиксирована максимальная степень вскрытия пробы по сравнению с другими способами, но даже при этом не наблюдалось полного разложения анализируемой навески.

Для увеличения полноты разложения навески почвы при проведении валового анализа использовали ультразвуковую обработку на различных стадиях аналитического процесса. В качестве

**Таблица 1.** Условия атомно-абсорбционного определения элементов

| Элемент | Резонансная линия, нм | Ток на лампе, мА | Соотношение газов C <sub>2</sub> H <sub>2</sub> : воздух |
|---------|-----------------------|------------------|--|
| Cd      | 228.8                 | 9                | 1 : 4  |
| Co      | 240.7                 | 13               | 1 : 3  |
| Cg      | 357.7                 | 9                | 1 : 1  |
| Cu      | 324.7                 | 7                | 1 : 4  |
| Ni      | 232.0                 | 17               | 1 : 4  |
| Pb      | 283.3                 | 7                | 1 : 3  |
| Zn      | 213.9                 | 19               | 1 : 2  |

Примечание. Для определения всех элементов, кроме Pb, использовали лампу ЛТ-2, для Pb – ЛСП-1.

растворителей были выбраны растворы “царской водки” как концентрированные, так и разбавленные водой в соотношении 1 : 1, 1 : 5, 1 : 10. Для перевода элементов в раствор использовали ультразвуковые установки УЗДН-1 и УЗДН-1М с зондовыми магнитострикционными излучателями. Первая позволяла вести обработку ультразвуком на фиксированных частотах 22 и 44 кГц, а вторая с изменением частот от 18 до 47 кГц в интервале интенсивностей от 1.48 до 14.00 Вт/см<sup>2</sup>. Содержание элементов в растворах определяли атомно-абсорбционным методом в пламени ацетилен – воздух на спектрофотометре С-115 ПКС (табл. 1). Определение элементов проводили по градуировочному графику или методом стандартных добавок.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследована зависимость изменения валового содержания микроэлементов в растворах от параметров ультразвуковой обработки (интенсивности – 1.48–5.07 Вт/см<sup>2</sup>, частоты – 18–47 кГц и времени – 1–15 мин воздействия) и силы растворителя. Установлено, что степень извлечения тяжелых металлов определяется совокупностью параметров УЗ, что на примере Сг подтверждено зависимостями изменения выхода элемента в раствор (рисунок).

Зависимости, показанные на рисунке, отражают результаты определения содержания Сг в растворах, полученных однократной обработкой ультразвуком с указанными параметрами без последующего кипячения. Следует отметить, что при действии ультразвука с частотой более 40 кГц концентрация Сг в полученных растворах ниже определяемого минимума. Это можно объяснить тем, что обработка системы почва : растворитель ультразвуком низкой частоты более эффективна [11, 13].

Полученные зависимости могут быть описаны уравнениями парной регрессии (1), (2), (3) [14].

$$C = A + Bt + Dt^2, \quad (1)$$

$$C = K + LI + MI^2, \quad (2)$$

$$C = F + Gf + Hf^2, \quad (3)$$

где  $t$  – время ультразвукового воздействия, мин,  $I$  – интенсивность ультразвука, Вт/см<sup>2</sup>;  $f$  – частота излучения, кГц;  $A, B, D, K, L, M, F, G, H$ , – коэффициенты уравнений регрессии.

Максимальный выход тяжелых металлов в раствор концентрированной ЦВ наблюдался в диапазонах интенсивностей 3.28–4.20 Вт/см<sup>2</sup>, частот 22–25 кГц и времени воздействия 5–10 мин в зависимости от природы определяемого элемента и выбранного растворителя.

Действием на пробу почвы ультразвука в присутствии растворителя невозможно добиться полного разложения образца и максимального переведения тяжелых металлов в раствор. Поэтому рассмотрены различные схемы вскрытия образцов чернозема, предусматривающие наряду с обработкой ультразвуком последующее кипячение с различными кислотами или их смесями (табл. 2). На первой стадии разложения навеску почвы заливали 10 мл ЦВ концентрированной и кипятили до полного выпаривания растворителя, далее добавляли новую порцию растворителя (10 мл ЦВк) и смесь обрабатывали ультразвуком 5 мин с интенсивностью 3.88 Вт/см<sup>2</sup> и частотой 22 кГц, после чего раствор отфильтровывали в мерную колбу. При фильтровании следили за тем, чтобы почва не попадала на фильтр. После этого к почве приливали очередную новую порцию растворителя (10 мл ЦВк) и повторяли обработку ультразвуком и фильтрование раствора. В некоторых схемах предусматривалась трехкратная ультразвуковая (УЗ) обработка анализируемой навески. После УЗ стадии разложения остаток почвы заливали 10 мл смеси фтористо-водородной и азотной кислот (3 : 1) или раствором ЦВк и кипятили до полного испарения растворителя. Некоторые схемы предусматривали двукратное повторение этой операции, после чего к нерастворившемуся остатку почвы добавлялась порция (10 мл) 1.0 М раствора соляной кислоты. Смесь кипятили в течение 5 мин, и раствор фильтровали в ту же колбу, что и ранее. В полученном растворе содержание тяжелых металлов определяли методом атомной абсорбции (табл. 3). Остаток почвы на фильтре высушивали и взвешивали для определения количества ( $Q$ , %) нерастворившейся почвы ( $m_{ост}$ ) из первоначальной навески почвы ( $m_{нав}$ ). При этом полнота разложения навески чернозема может быть рассчитана по формуле:

$$Q = \frac{m_{ост}}{m_{нав}} \times 100\%.$$

Основной задачей при разработке схем являлось создание условий (с учетом экспериментально подобранных оптимальных параметров УЗ), способствующих максимальному растворению анализируемой пробы.

Результаты определения содержания тяжелых металлов в черноземе обыкновенном, обработанном по различным схемам, представлены как в единицах концентрации (мг/кг), так и величиной степени извлечения ( $W_{эл}$ ).

$$W_{эл} = \frac{C_{опр}}{C_{max}} \times 100\%,$$

где  $C_{опр}$  – концентрация элемента в анализируемом растворе,  $C_{max}$  – максимальный выход элемента в раствор при разложении почвы по предложенным схемам практически без остатка.

Схемы 1 и 2 являются традиционными при определении валового содержания тяжелых металлов. Из табл. 3 видно, что проведение анализа по данным схемам не позволяет полностью разложить анализируемую навеску почвы, и нерастворимый остаток составляет соответственно 6.6 и 22.6%. В случае неполного разложения пробы нельзя говорить и о достижении максимальной степени извлечения элементов в раствор. Значит разложение проб почв традиционными способами может привести к получению заниженных результатов анализа. Для сокращения доли нерастворившегося остатка и, следовательно, повышения степени извлечения элементов в раствор использовано ультразвуковое воздействие на различных стадиях пробоподготовки (схемы 3–9). Диспергирующее и перемешивающее действие ультразвука позволило создать такие условия перевода элементов в раствор, когда доля нерастворимого остатка составила 4–5% (схемы 8.2–8.3). Вследствие более полного растворения навески почвы увеличилась и степень извлечения тяжелых металлов. Рассматривались схемы разложения почвы, предусматривающие неоднократную обработку пробы ультразвуком при добавлении новых порций растворителя. Установлено, что степень извлечения элементов при этом была меньше по сравнению с использованием кислотного кипячения. Поэтому в ряде схем к ультразвуковой обработке проб было добавлено и кислотное кипячение или с раствором ЦВ, или со смесью  $\text{HF} : \text{HNO}_3$  (3 : 1). Результатом этих экспериментов явилось значительное увеличение степени извлечения тяжелых металлов в раствор.

Установлено, что при определении отдельных элементов можно использовать конкретные схемы разложения, которые позволили добиться максимального извлечения данного элемента в раствор: Cd – схема 2, Co – схема 5.1, Cr, Cu, Pb – схема 8.3, Ni – схема 5.3, Zn – схема 9.1.

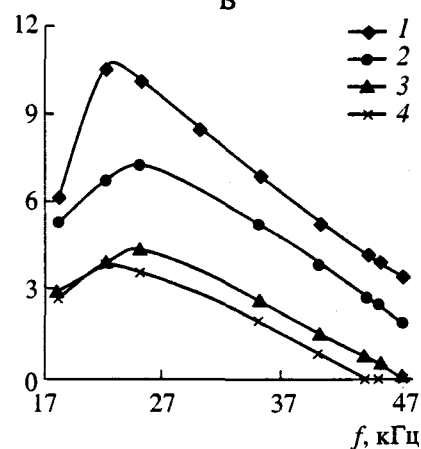
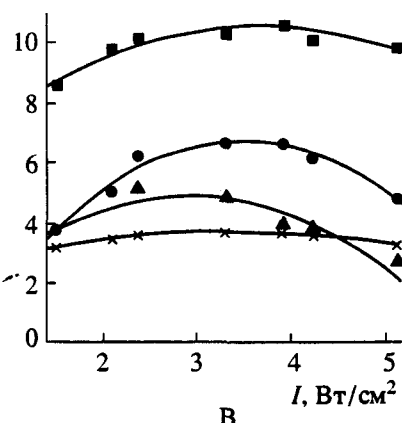
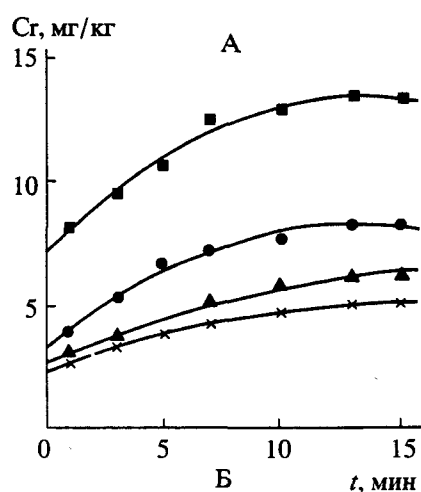


Рисунок. Содержание хрома в анализируемых растворах, полученных при обработке навески почвы ультразвуком: А – с частотой 22 кГц в течение 1–15 мин; Б – при изменении интенсивности обработки, В – при обработке в течение 5 мин при интенсивности 3.88 Вт/см<sup>2</sup> растворами ЦВ различного разбавления: 1 – концентрированная, 2 – 1 : 1, 3 – 1 : 5, 4 – 1 : 10.

При определении валового содержания всех вышеуказанных тяжелых металлов на наш взгляд наиболее приемлемой схемой разложения является трехкратная обработка ультразвуком.

Таблица 2. Комбинированные схемы разложения почвы, включающие ультразвуковую обработку и кипячение с кислотами ( $V_{\text{кислоты}} = 10$  мл)

| № схемы |   | Выпаривание досуха | Обработка ультразвуком, 5 мин, $V_{\text{цв}} = 10$ мл |   |   |   | Кипячение                     |   |    |   |           |
|---------|---|--------------------|--|---|---|---|-------------------------------|---|----|---|-----------|
|         |   |                    |  |   |   |   | HF + HNO <sub>3</sub> (3 : 1) |   | ЦВ |   | 1.0 М HCl |
| 1       | 1 | -                  | -  | - | - | + | +                             | - | -  | + |           |
| 2       | 1 | +                  | -  | - | - | - | -                             | + | +  | + |           |
| 3       | 1 | -                  | +  | - | - | - | -                             | - | -  | - |           |
|         | 2 | -                  | +  | + | - | - | -                             | - | -  | - |           |
|         | 3 | -                  | +  | + | + | - | -                             | - | -  | - |           |
| 4       | 1 | -                  | +  | - | - | - | -                             | + | -  | - |           |
|         | 2 | -                  | +  | + | - | - | -                             | + | -  | - |           |
|         | 3 | -                  | +  | + | + | - | -                             | + | -  | - |           |
| 5       | 1 | -                  | +  | - | - | - | -                             | + | +  | - |           |
|         | 2 | -                  | +  | + | - | - | -                             | + | +  | - |           |
|         | 3 | -                  | +  | + | + | - | -                             | + | +  | - |           |
| 6       | 1 | -                  | +  | - | - | - | -                             | + | +  | + |           |
|         | 2 | -                  | +  | + | - | - | -                             | + | +  | + |           |
|         | 3 | -                  | +  | + | + | - | -                             | + | +  | + |           |
| 7       | 1 | -                  | +  | - | - | + | -                             | - | -  | - |           |
|         | 2 | -                  | +  | + | - | + | -                             | - | -  | - |           |
|         | 3 | -                  | +  | + | + | + | -                             | - | -  | - |           |
| 8       | 1 | -                  | +  | - | - | + | +                             | - | -  | - |           |
|         | 2 | -                  | +  | + | - | + | +                             | - | -  | - |           |
|         | 3 | -                  | +  | + | + | + | +                             | - | -  | - |           |
| 9       | 1 | +                  | +  | - | - | - | -                             | - | -  | - |           |
|         | 2 | +                  | +  | + | - | - | -                             | - | -  | - |           |
|         | 3 | +                  | +  | + | + | - | -                             | - | -  | - |           |

Примечание. Знак (+) свидетельствует о наличии указанной операции в процессе разложения, (-) – об обратном.

ком с добавлением новых порций растворителя и кипячение со смесью плавиковой и азотной кислот (3 : 1), так как степень извлечения элементов в этом случае является максимальной или близкой к таковой, а доля нерастворившегося остатка – минимальной.

Таким образом, нами разработана методика определения валового содержания тяжелых металлов в черноземе обыкновенном, предусматривающая ультразвуковое воздействие на пробу и кислотное кипячение со смесью фтористоводородной и азотной кислот, а также последующую регистрацию сигнала методом атомной адсорбции. Методика изложена ниже.

Навеску (1.00 г) почвы, просеянной через сито с диаметром отверстий 0.35 мм и высушенной при

температуре 110°C, залить 10 мл ЦВ концентрированной и обработать ультразвуком в течение 5 мин при интенсивности 3.88 Вт/см<sup>2</sup> с частотой 22 кГц, раствор отфильтровать в мерную колбу без переноса пробы на фильтр. Обработку остатка почвы ультразвуком с добавлением новой порции растворителя повторить дважды. После последнего фильтрования к остатку почвы добавить 10 мл смеси фтористоводородной и азотной кислот (3 : 1) и кипятить до получения влажных солей, повторить операцию еще раз, затем добавить 10 мл 1.0 М раствора HCl, довести до кипения и фильтровать в мерную колбу. Содержание Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Zn и Pb рекомендуется определять атомно-абсорбционным методом в пламени ацетилен – воздух.

Таблица 3. Содержание элементов в почве и степень их извлечения при использовании различных схем разложения (над чертой – мг/кг, под чертой – %)

| № схемы |      | Q, % | Cd   | Co   | Cr   | Cu   | Ni   | Pb   | Zn    |
|---------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 1       | 1    | 6.6  | 0.9  | 10.5 | 31.7 | 44.5 | 8.6  | 22.3 | 86.5  |
|         |      |      | 64.3 | 58.7 | 76.6 | 87.9 | 26.1 | 44.2 | 48.8  |
| 2       | 1    | 22.6 | 1.4  | 16.9 | 35.7 | 50.4 | 27.7 | 48.1 | 132.6 |
|         |      |      | 100  | 94.4 | 86.2 | 99.6 | 83.9 | 95.4 | 74.9  |
| 3       | 1    | 26   | 0.3  | 3.1  | 3.5  | 24.7 | 7.2  | 17.1 | 86.1  |
|         |      |      | 21.4 | 17.3 | 8.4  | 48.8 | 21.8 | 33.9 | 48.6  |
|         |      |      | 0.4  | 5.5  | 3.7  | 26.9 | 7.3  | 22.3 | 68    |
| 2       | 24.6 | 28.6 | 28.6 | 30.7 | 8.9  | 53.9 | 22.1 | 44.2 | 38.4  |
|         |      |      | 0.3  | 3.1  | 9.1  | 35.7 | 10.9 | 12.7 | 88.1  |
|         |      |      | 21.4 | 17.3 | 22.0 | 70.5 | 33.0 | 25.2 | 49.7  |
| 4       | 1    | 21.6 | 0.3  | 3.1  | 14.2 | 34.1 | 18.6 | 35.0 | 154.3 |
|         |      |      | 21.4 | 17.3 | 34.3 | 67.4 | 56.4 | 69.4 | 87.1  |
|         |      |      | 0.4  | 10.2 | 16.5 | 39.8 | 17.7 | 38.4 | 135.7 |
| 2       | 19.7 | 28.6 | 28.6 | 57.0 | 39.9 | 78.7 | 53.6 | 76.2 | 76.6  |
|         |      |      | 0.3  | 8.6  | 23.7 | 46.1 | 21.8 | 30.3 | 146.3 |
|         |      |      | 21.4 | 48.0 | 57.2 | 91.1 | 66.1 | 60.7 | 82.6  |
| 5       | 1    | 19.1 | 0.4  | 17.9 | 36.8 | 32.8 | 26.7 | 21.4 | 84.4  |
|         |      |      | 28.6 | 100  | 88.9 | 64.8 | 80.9 | 42.5 | 47.7  |
|         |      |      | 0.7  | 14.3 | 38.3 | 34.8 | 29.5 | 32.1 | 114.9 |
| 2       | 17   | 50.0 | 50.0 | 79.9 | 92.5 | 68.8 | 89.4 | 63.7 | 64.9  |
|         |      |      | 0.8  | 10.7 | 40.5 | 37.0 | 33.0 | 42.9 | 131.1 |
|         |      |      | 57.1 | 59.8 | 97.8 | 73.1 | 100  | 85.1 | 74.0  |
| 6       | 1    | 14.6 | 0.5  | 10.9 | 25   | 39.4 | 13.3 | 35.2 | 102.9 |
|         |      |      | 35.7 | 60.9 | 60.4 | 77.9 | 40.3 | 69.8 | 58.1  |
|         |      |      | 1.1  | 12.7 | 33.3 | 23.8 | 15.6 | 24.1 | 107.7 |
| 2       | 12.9 | 78.6 | 78.6 | 70.9 | 80.4 | 47.0 | 47.3 | 47.8 | 60.8  |
|         |      |      | 0.6  | 13.2 | 35.2 | 42.1 | 17.5 | 37.0 | 112.0 |
|         |      |      | 42.9 | 73.7 | 85.0 | 83.2 | 53.0 | 73.4 | 63.2  |
| 7       | 1    | 7.9  | 0.5  | 7.8  | 16.0 | 37.9 | 14.2 | 43.3 | 128.8 |
|         |      |      | 35.7 | 43.6 | 38.6 | 74.9 | 43.0 | 85.9 | 72.7  |
|         |      |      | 0.6  | 5.5  | 17.9 | 38.2 | 18.1 | 43.2 | 124.8 |
| 2       | 7.2  | 42.9 | 42.9 | 30.7 | 43.2 | 75.5 | 54.8 | 85.7 | 70.5  |
|         |      |      | 1.0  | 3.1  | 25.1 | 47.7 | 23.4 | 28.9 | 112.9 |
|         |      |      | 71.4 | 17.3 | 60.6 | 94.2 | 70.9 | 57.3 | 63.7  |
| 8       | 1    | 5.8  | 0.6  | 10.7 | 36.8 | 34.4 | 23.5 | 28.6 | 101.4 |
|         |      |      | 42.9 | 59.8 | 88.9 | 68.0 | 71.2 | 56.7 | 57.3  |
|         |      |      | 0.9  | 14.3 | 38.4 | 34.4 | 27.3 | 42.9 | 118.3 |
| 2       | 4.9  | 64.3 | 64.3 | 79.9 | 92.7 | 68.0 | 82.7 | 85.1 | 66.8  |
|         |      |      | 1.3  | 17.3 | 41.4 | 50.6 | 31.5 | 50.4 | 131.0 |
|         |      |      | 92.9 | 96.6 | 100  | 100  | 95.4 | 100  | 4.0   |
| 9       | 1    | 22.1 | –    | 8.1  | 20.2 | 42.7 | 17.2 | 28.5 | 177.1 |
|         |      |      | –    | 45.2 | 48.8 | 84.4 | 52.1 | 56.5 | 100   |
|         |      |      | –    | 11.0 | 19.8 | 34.5 | 22.8 | 29.0 | 136.2 |
| 2       | 20.4 | –    | –    | 61.4 | 47.8 | 68.2 | 69.1 | 57.5 | 76.9  |
|         |      |      | –    | 13.8 | 17.6 | 36.8 | 23.4 | 36.5 | 120.7 |
|         |      |      | –    | 77.1 | 42.5 | 72.7 | 70.9 | 72.4 | 68.1  |

**Таблица 4.** Метрологические характеристики агрохимической и ультразвуковой методик атомно-абсорбционного определения валового содержания тяжелых металлов в почве типа чернозем обыкновенный ( $n = 3, P = 0.95$ )

| Элемент | Кислотное кипячение |      | Ультразвуковая методика |      |
|---------|---------------------|------|-------------------------|------|
|         | Ср ± δ              | Sr   | Ср ± δ                  | Sr   |
| Cd      | 1.4 ± 0.2           | 0.06 | 1.3 ± 0.1               | 0.06 |
| Co      | 16.6 ± 3.4          | 0.10 | 17.3 ± 1.4              | 0.03 |
| Cr      | 35.7 ± 12.0         | 0.14 | 41.4 ± 6.1              | 0.04 |
| Cu      | 50.4 ± 15.0         | 0.12 | 48.6 ± 4.8              | 0.06 |
| Ni      | 27.7 ± 5.1          | 0.09 | 31.5 ± 1.5              | 0.02 |
| Pb      | 48.1 ± 3.7          | 0.04 | 50.4 ± 2.7              | 0.02 |
| Zn      | 132.6 ± 28.7        | 0.09 | 131.0 ± 7.7             | 0.02 |

Метрологические характеристики методики представлены в табл. 4.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подобран оптимальный растворитель и параметры ультразвуковой обработки для перевода тяжелых металлов в раствор при проведении валового анализа почв. Установлено, что при определении содержания некоторых элементов в почве возможно применение отдельных схем разложения. При установлении содержания целого ряда элементов оптимальной схемой вскрытия можно считать трехкратную обработку ультразвуком и последующее двукратное кипячение в смеси плавиковой и азотной кислот. Применение этой схемы позволяет практически полностью разложить навеску анализируемой почвы. На основе экспериментально подобранной оптимальной схемы разложения почвенных образцов разработана методика определения валового содержания тяжелых металлов в черноземе обыкновенном с использованием ультразвукового воздействия на стадии пробоподготовки и атомно-абсорбционной регистрацией сигнала.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гончарова Н.Н., Бухарова Ю.А., Кузнецов Т.В. и др. Ультразвуковое разложение проб для экспрессного определения ртути и других тяжелых

металлов // Журнал аналитической химии. 1999. Т. 54. № 12. С. 1238-1243.

- Ильин В.Б. О загрязнении тяжелыми металлами почв и сельскохозяйственных культур предприятием цветной металлургии // Агрохимия. 1990. № 3. С. 92-99.
- Корякин А.В., Помарес Альфонсо М.С., Кумина Д.М., Беляев Ю.И., Старшинова Н.П. Атомно-эмиссионное определение микроэлементов в кубинских почвах с применением ультразвуковой обработки проб // Журнал аналитической химии. 1989. Т. 44. № 8. С. 1480-1484.
- Кумина Д.М., Корякин А.В., Грибовская И.Ф. Метод извлечения элементов из растений в раствор с использованием ультразвука // Журнал аналитической химии. 1985. Т. 40. № 7. С. 1184-1187.
- Кумина Д.М., Савинова Е.Н., Шумская Т.В., Алыбаева М.Д., Корякин А.В. Ультразвуковое извлечение микроэлементов из почв и растений для последующего их определения атомно-абсорбционной и атомно-эмиссионной спектрометрией // Журнал аналитической химии. 1989. Т. 44. № 3. С. 567-569.
- Ладонин Д.В. Влияние техногенного загрязнения на фракционный состав Си и Zn в почвах // Почвоведение. 1995. № 10. С. 1299-1305.
- Львовский Е.Н. Статистические методы построения эмпирических формул. М.: Высшая школа. 1982. 224 с.
- Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. 60 с.
- Плескан Л.И., Зайцева Н.И. Использование УЗ для ускорения анализа удобрений // Журнал аналитической химии. 1974. Т. 29. № 7. С. 1433-1434.
- Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 1989. 304 с.
- Чмиленко Ф.А., Бакланов А.Н. Ультразвук в аналитической химии. Теория и практика. Монография. Днепропетровск: Изд-во ДНУ, 2001. 264 с.
- Чмиленко Ф.А., Бакланов А.Н., Сидорова Л.П., Пискун Ю.М. Использование ультразвука в химическом анализе // Журнал аналитической химии. 1994. Т. 49. № 6. С. 550-556.
- Чмиленко Ф.А., Смитюк Н.М., Бакланов А.Н. Ультразвук в определении растворимых форм металлов в почвах // Вопросы химии и химической технологии. 2001. № 3. С. 12-15.
- Шалы Р. Использование ультразвука при диспергировании почвенных образцов // Почвоведение. 1967. № 11. С. 129-137.

## The Use of Ultrasonic Dispersion for Determining the Bulk Content of Heavy Metals in Chernozems

F. A. Chmilenko and N. M. Smityuk

The use of ultrasonic dispersion at the stage of sample preparation for determining bulk contents of Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, and Zn by the atomic absorption spectrometry has been tested by the example of samples from an ordinary chernozem. Optimal parameters of ultrasonic treatment (duration, intensity, and frequency) of soil samples favoring the maximum release of analyzed elements into the solution have been found. It is argued that the pretreatment of soil samples for determining the bulk content of heavy metals should include ultrasonic dispersion and soil boiling with acids.