

*Аббасова А. А.,
Студентка, 1 курс магистратуры
Факультет «Агрохимии и защиты растений»
Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина
Россия, г. Краснодар*

*Ильина Е. И.,
Студентка, 1 курс магистратуры
Факультет «Агрохимии и защиты растений»
Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина
Россия, г. Краснодар*

*Баранова Ю.А.,
Студентка, 1 курс магистратуры
Факультет «Агрохимии и защиты растений»
Кубанский государственный аграрный университет им. И.Т. Трубилина
Россия, г. Краснодар*

**ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ОБЕСПЕЧЕННОСТИ
ЧЕРНОЗЁМА ВЫЩЕЛОЧЕННОГО КАЛИЕМ, ЦИНКОМ И МЕДЬЮ:
СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ААС И ЭКСПРЕСС-
ФОТОМЕТРИИ**

АННОТАЦИЯ: Проведено сравнение атомно-абсорбционного (ААС) и колориметрического методов определения подвижных форм цинка, меди и обменного калия в чернозёме выщелоченном Азово-Кубанской низменности. Установлено, что расхождение результатов не превышает 5% при статистически незначимых различиях. Метод ААС характеризуется более высокой чувствительностью. Показано, что исследуемые почвы находятся в зоне оптимальной обеспеченности калием и медью, тогда как содержание цинка приближается к нижней границе агрономического оптимума.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: чернозём выщелоченный, атомно-абсорбционная спектроскопия, колориметрия, макро- и микроэлементы, агрохимический мониторинг, подвижные формы элементов.

Abbasova A. A.,
First-year Master's student
Faculty of Agrochemistry and Plant Protection
Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin
Russia, Krasnodar

Ilyina E. I.,
First-year Master's student
Faculty of Agrochemistry and Plant Protection
Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin
Russia, Krasnodar

Baranova Y.A.
First-year Master's student
Faculty of Agrochemistry and Plant Protection
Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin
Russia, Krasnodar

**INSTRUMENTAL ASSESSMENT OF THE PROVISION OF LEACHED
CHERNOZEM WITH POTASSIUM, ZINC AND COPPER: COMPARATIVE
ANALYSIS OF AAS AND RAPID PHOTOMETRY METHODS**

***ABSTRACT:** A comparative study of atomic absorption spectrometry (AAS) and colorimetric methods for determining available forms of zinc, copper, and exchangeable potassium in leached chernozem of the Azov-Kuban lowland was carried out. The results showed that the discrepancy between the two methods did not exceed 5%, with no statistically significant differences. The AAS method demonstrated higher sensitivity. The studied soils were found to have optimal availability of potassium and copper, whereas zinc content approached the lower threshold of the agronomic optimum, indicating the need for regular monitoring.*

***KEYWORDS:** leached chernozem, atomic absorption spectrometry, colorimetry, macro- and microelements, agrochemical monitoring, available forms of elements.*

ВВЕДЕНИЕ. Обеспеченность почвы эссенциальными элементами — ключевой фактор плодородия и урожайности сельскохозяйственных культур. Чернозём выщелоченный, широко распространённый в степной зоне России (в том числе в Азово-Кубанской низменности), характеризуется переменным содержанием макро- и микроэлементов, что требует регулярного инструментального мониторинга [1, 2].

Цель исследования — сравнительная оценка атомно-абсорбционного (ААС) и колориметрических методов определения содержания цинка (Zn), меди (Cu) и обменного калия (K) в чернозёме выщелоченном.

Задачи:

- отобрать пробы почвы в рамках агроэкологического мониторинга;
- провести анализ проб двумя инструментальными методами;
- сопоставить точность, чувствительность и оперативность методов;
- оценить обеспеченность почвы элементами по действующим агрохимическим нормативам.

Актуальность работы обусловлена необходимостью выбора оптимального метода для оперативного контроля элементного состава почв в условиях интенсификации земледелия.

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Биогеохимическая оценка обеспеченности чернозёма выщелоченного микроэлементами представлена в работе Н. Г. Гайдуковой и И. В. Шабановой [1]. Авторы выявили:

- превышение ПДК по кислоторастворимым формам никеля, меди и цинка до второго уровня загрязнения;
- концентрацию марганца, хрома и кобальта на уровне ПДК;
- дефицит подвижных форм меди и цинка, избыток марганца и кобальта по агрохимическим критериям.

Исследование динамики биогенных и токсичных тяжёлых металлов в агроценозе Кубани [2] подтвердило накопление кислоторастворимых

соединений никеля, меди и цинка выше ПДК при высоких дозах удобрений, при этом содержание подвижных форм всех элементов оставалось ниже ПДК.

Работа Н. Г. Гайдуковой с соавторами [3] показала, что минеральные и органические удобрения не вызывают загрязнения почвы свинцом и кадмием, но могут повышать подвижность кадмия и его накопление в продукции.

2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

2.1. Объект исследования

Образцы чернозёма выщелоченного отбирались в степной зоне Азово-Кубанской низменности (зернотравяно-пропашной севооборот) на глубине 0–20 см согласно ГОСТ 17.4.3.01-2017. Пробы взяты в трёхкратной повторности с учётом севооборота и системы удобрения.

2.2. Методы анализа

Подготовка проб: экстракция подвижных форм элементов проводилась ацетатно-аммонийным буферным раствором (рН 4,8) по методике Кирсанова [5].

Атомно-абсорбционная спектроскопия (ААС):

- атомизация пробы в пламени ацетилен–воздух;
- измерение оптического поглощения на спектрофотометре АА-7000 (Shimadzu, Япония);
- длины волн: Zn — 213,9 нм, Cu — 324,8 нм, К — 766,5 нм;
- коррекция фона дейтериевой лампой;
- калибровка по стандартным образцам (ГСО).

Колориметрический метод (экспресс-анализ):

- комплексообразование с диэтилдитиокарбаматом натрия (для Cu и Zn) и кобальтинитритом натрия (для К);
- фотометрирование экстракта на спектрофотометре UV-1800 (Shimadzu);
- длины волн: Cu/Zn — 540 нм, К — 420 нм;
- расчёт по калибровочным графикам, построенным в диапазоне 0,1–20 мг/дм³.

2.3. Статистическая обработка

Результаты обработаны в Microsoft Excel с расчётом среднего арифметического (\bar{x}), стандартного отклонения (σ), коэффициента вариации (V , %). Достоверность различий между методами оценена по парному t-критерию Стьюдента ($\alpha = 0,05$), рассчитан коэффициент корреляции Пирсона (r).

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

Таблица 1

Содержание элементов в чернозёме (мг/кг, $n = 3$)

Микроэлемент	ААС	ЦЭМ	Отклонение, %
<i>Цинк (Zn)</i>	18,5 ± 1,2	17,8 ± 1,0	3,8
<i>Калий (K)*</i>	155,3 ± 8,7	152,5 ± 7,9	1,8
<i>Медь (Cu)</i>	7,2 ± 0,5	6,9 ± 0,4	4,2

* — для калия указаны значения в мг/кг обменной формы

Статистический анализ не выявил значимых различий между методами ($p > 0,05$).

Коэффициент корреляции Пирсона: $r = 0,98$ (Zn), $r = 0,99$ (K), $r = 0,97$ (Cu).

3.2. Сравнительная характеристика методов

ААС:

- высокая чувствительность (предел обнаружения: Zn — 0,05, Cu — 0,02, K — 1,0 мг/кг);
- низкий коэффициент вариации ($\leq 7\%$);
- требования: дорогостоящее оборудование, квалифицированный персонал, время подготовки пробы 3–4 ч.

Колориметрический метод:

- умеренная чувствительность (предел обнаружения: Zn — 0,1, Cu — 0,05, K — 2,0 мг/кг);
- простота и оперативность (время анализа до 1 ч);
- низкая стоимость реагентов;
- применим для экспресс-мониторинга при допустимой погрешности.

4. ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

Полученные данные согласуются с результатами Гайдуковой и Шабановой [1], отметивших вариабельность содержания микроэлементов в чернозёмах региона. Незначительное занижение результатов колориметрическим методом (3,8–4,2% для Zn и Cu) может быть обусловлено неполнотой комплексообразования или влиянием матричных эффектов, что требует дополнительной валидации методики. Оценка обеспеченности почвы по нормативам [5]:

- Цинк (18,5 мг/кг) — нижняя граница оптимума (18–25 мг/кг). Рекомендуется контроль за динамикой элемента, так как дефицит может снижать урожайность зерновых на 10–15% [4].
- Калий (155,3 мг/кг) — оптимальный уровень (150–200 мг/кг), что обеспечивает высокую продуктивность севооборота.
- Медь (7,2 мг/кг) — в пределах нормы (6–8 мг/кг); дефицит маловероятен, но возможен на лёгких почвах с высоким содержанием органики.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Оба метода пригодны для оценки обеспеченности чернозёма выщелоченного подвижными формами цинка, меди и обменного калия (расхождение $\leq 5\%$, $p > 0,05$).

2. ААС предпочтительна для научных исследований и точного контроля благодаря высокой чувствительности и селективности.

3. Колориметрический метод оптимален для оперативного агрохимического мониторинга благодаря простоте и экономичности.

4. Исследуемые почвы характеризуются оптимальной обеспеченностью калием и медью; содержание цинка требует регулярного контроля.

ПЕРСПЕКТИВЫ:

- разработка комбинированного алгоритма (ААС для калибровки + колориметрия для рутинного анализа);
- изучение влияния систем удобрения на динамику подвижности элементов;
- валидация результатов методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ICP-MS).

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ:

1. Гайдукова Н. Г., Шабанова И. В. Биогеохимическая оценка обеспеченности чернозема выщелоченного эссенциальными микроэлементами // Труды Кубанского государственного аграрного университета. — 2017. — № 69. — С. 129–135.

2. Загорулько А. В., Шабанова И. В., Нецадим Н. Н., Гайдукова Н. Г. Биогенные и токсичные тяжёлые металлы в агроценозе Кубани при интенсификации земледелия // Труды Кубанского государственного аграрного университета. — 2018. — № 74. — С. 58–64.

3. Гайдукова Н. Г., Кошеленко Н. А., Сидорова И. И., Шабанова И. В. Влияние различных факторов на содержание токсичных элементов в чернозёме выщелоченном // Агрохимический вестник. — 2010. — № 6. — С. 17–18.

4. Шабанова И. В., Зимин А. Н. Баланс эссенциальных микроэлементов в чернозёме выщелоченном в зернотравяно-пропашном севообороте // Труды Кубанского государственного аграрного университета. — 2019. — № 78. — С. 72–79.

5. Методические указания по агрохимическому анализу почв. — М.: Россельхознадзор, 2020. — 120 с.