

УДК 631.81.095.337:546.48:631.95

UDC 631.81.095.337:546.48:631.95

06.01.00 Агротомия

Agronomy

**СОДЕРЖАНИЕ И ФОРМЫ СОЕДИНЕНИЙ ХРОМА В ЧЕРНОЗЕМЕ ВЫЩЕЛОЧЕННОМ ЗАПАДНОГО ПРЕДКАВКАЗЬЯ В УСЛОВИЯХ АГРОГЕНЕЗА**

**CONTENTS AND FORMS OF CHROMIUM COMPOUNDS IN THE WEST FOOT CAUCASUS LEACHED CHERNOZEM IN CONDITIONS OF AGRICULTURAL SOIL GENESIS**

Шеуджен Асхад Хазретович  
д.б.н., профессор, академик. РАН, зав. кафедрой агрохимии, SPIN-код: 9370-9411

Sheudzhen Askhad Khazretovich  
Dr.Sci.Biol., professor, academician of RAS, head of agrochemistry department, SPIN-code: 9370-9411

Бондарева Татьяна Николаевна  
к.с.-х.н., доцент  
SPIN-код: 5621-0334

Bondareva Tatyana Nikolaevna  
Cand.Agr.Sci., assistant professor  
SPIN-code: 5621-0334

Суетов Виктор Павлович  
к.с.-х.н., доцент  
SPIN-код: 6509-4340

Syetov Victor Pavlovich  
Cand.Agr.Sci., assistant professor  
SPIN-code: 6509-4340

Лебедовский Ивана Анатольевич  
к.с.-х.н., доцент  
SPIN-код: 5306-5690

Lebedovsky Ivan Anatolevich  
Cand.Agr.Sci., assistant professor  
SPIN-code: 5306-5690

Осипов Михаил Алексеевич  
к.с.-х.н., доцент  
SPIN-код: 9010-8645

Osipov Mikhail Alexeevich  
Cand.Agr.Sci., assistant professor  
SPIN-code: 9010-8645

Безсонов Владимир Олегович  
аспирант  
*ФГБОУ ВО «Кубанский ГАУ», Краснодар, Россия*

Bezsonov Vladimir Olegovich  
post-graduate student  
*Kuban state agrarian university, Krasnodar, Russia*

В почвах хром представлен следующими формами его соединений: 1) неподвижный; 2) прочносвязанный в составе первичных и частично вторичных глинистых минералов, с полуторными гидроксидами алюминия и железа; 3) обменносвязанный на поверхности полуторных оксидов и глинистых минералов; 4) связанный с органическим веществом почв; 5) водорастворимые соединения. Валовое содержание хрома (70,1-78,3 мг/кг) в черноземе выщелоченном значительно ниже кларка почв мира (100 мг/кг). Доля подвижной, кислоторастворимой и кислотонерастворимой форм соединений элемента составляет соответственно 0,01; 7,09 и 92,9 % валового его содержания. После трех ротаций 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота без внесения минеральных удобрений содержание хрома в черноземе выщелоченном не претерпело существенных изменений, даже в какой-то степени наметилась тенденция его уменьшения. Это свидетельствует об отсутствии серьезных природных источников поступления хрома в почву. Научно-обоснованная система удобрения сельскохозяйственных культур не ведет к антропогенному загрязнению чернозема выщелоченного хромом. Вынос этого элемента с

Chromium in soils is represented by the following forms of connections: 1) stationary; 2) strongly bound in the composition of primary and partially secondary clay minerals, with one and a half aluminum and iron hydroxides; 3) exchange bound on the surface of one-and-a-half oxides and clay minerals; 4) associated with organic matter of soils; 5) water-soluble compounds. The gross chromium content (70.1-78.3 mg/kg) in leached chernozem is well below clark soils of the world (100 mg/kg). The share of mobile, acid-soluble and acid-insoluble forms of the element compounds is 0.01, respectively; 7.09 and 92.9 % of its gross content. After three rotations of 11-full grain-grass-tillage crop rotation without mineral fertilizers, the chromium content in leached chernozem has not undergone significant changes, even to some extent there is a tendency of its reduction. This indicates the absence of serious natural sources of chromium in the soil. Scientifically-based system of fertilizers for agricultural crops does not lead to anthropogenic pollution of leached chernozem with chromium. The removal of this element with crop yields is compensated by its receipt in the form of ballast with mineral fertilizers

урожаями сельскохозяйственных культур севооборота компенсируется его поступлением в виде балласта с минеральными удобрениями

Ключевые слова: ЧЕРНОЗЕМ ВЫЩЕЛОЧЕННЫЙ, СЕВООБОРОТ, ХРОМ

Keywords: LEACHED CHERNOZEM, CROP ROTATION, CHROMIUM

Doi: 10.21515/1990-4665-140-028

## Введение

В условиях агрохимического мониторинга полей необходимо исследовать содержание и формы соединений не только макро-, мезо- и микроэлементов, но и уделять должное внимание количеству и трансформации ультрамикроэлементов в почве, одним из которых является хром.

Кларк хрома в земной коре равен  $3 \cdot 10^{-2}\%$ , литосфере –  $2 \cdot 10^{-2}$ , почве –  $2 \cdot 10^{-2}$ , растениях –  $5 \cdot 10^{-4}$ , водах Мирового океана –  $2 \cdot 10^{-9} \%$ , речных водах – 1-2 мкг/л; биофильность –  $8 \cdot 10^{-3}$ , талассофильность –  $2 \cdot 10^{-7}$ , технофильность –  $2 \cdot 10^8$  [1, 5, 8].

Хром образует три оксида: CrO, обладающий свойствами оснований, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – амфотерный и CrO<sub>3</sub> – кислот. В почве этот элемент формирует комплексные ионы: Cr(OH)<sup>2+</sup>, CrO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, CrO<sub>3</sub><sup>-</sup>. Высоко окисленные формы его менее стабильны, чем Cr<sup>3+</sup>. Гидроксид хрома [Cr(OH)<sub>3</sub>] имеет амфотерный характер. Большая часть хрома в почвах присутствует в виде Cr<sup>3+</sup>, который образует оксиды с ионами железа. В кислой среде ион Cr<sup>3+</sup> инертен, при pH 5,5 почти полностью выпадет в осадок. Ион Cr<sup>6+</sup> крайне нестабилен и легко мобилизуется в кислых и щелочных почвах. Реакция среды определяет и интенсивность адсорбции хрома глинистыми минералами: с увеличением pH адсорбция Cr<sup>6+</sup> уменьшается, Cr<sup>3+</sup> - увеличивается. Органическое вещество почвы стимулирует восстановление Cr<sup>6+</sup> до Cr<sup>3+</sup> [12-14].

Содержание хрома в почвообразующих породах варьирует в очень широких пределах (таблица 1; [4, 16]).

Хром образует массивные и вкрапленные руды в ультраосновных горных породах, с которыми связано образование крупнейших месторож-

дений этого элемента. В основных породах содержание хрома достигает лишь 170-200 мг/кг, еще меньше его в средних – 15-50 мг/кг и кислых породах – 4-25 мг/кг. В осадочных породах количество его варьирует от 5-16 мг/кг (известняки) до 80-120 мг/кг (глины). Промежуточное положение занимают песчаники (20-40 мг/кг) и сланцы (60-100 мг/кг).

Таблица 1 – Содержание хрома в магматических и осадочных горных породах, мг/кг

| Магматические породы | Содержание | Осадочные породы | Содержание |
|----------------------|------------|------------------|------------|
| Ультраосновные       | 1600-3400  | Глины            | 80-120     |
| Основные             | 170-200    | Сланцы           | 60-100     |
| Средние              | 15-50      | Песчаники        | 20-40      |
| Кислые               | 4-25       | Известняки       | 5-16       |

В почвообразующих породах Краснодарского края хром распространен довольно неравномерно (таблица 2; [11]).

Таблица 2 – Валовое содержание хрома в почвообразующих породах Краснодарского края, мг/кг

| Порода                                | Содержание | Порода               | Содержание |
|---------------------------------------|------------|----------------------|------------|
| Лессовидные глины и тяжелые суглинки  | 39-76      | Делювий глинистый    | 31-100     |
| Лессовидные средние и легкие суглинки | 36-52      | Делювий суглинистый  | 16-30      |
| Третичные соленосные глины            | 59-78      | Сланцы               | 45-174     |
| Аллювий глинистый                     | 45-100     | Пески                | 18         |
| Аллювий суглинистый                   | 28-63      | Известняки, мергели  | 8-59       |
| Аллювиальные соленосные глины         | 25-66      | Глинистые известняки | 76-102     |

Наименьшее количество (8 мг/кг) хрома содержится в известняке, наибольшее (174 мг/кг) – в элювии глинистых сланцев. Пестрота в распределении этого элемента более выражена в почвообразующих породах предгорий и гор, чем равнинной части края. В предгорной и горной зонах

богаты им элювий глинистых сланцев, глинистые известняки, третичные рудные глины, бедны – известняки, мергели, пески и легкие суглинки. Наблюдается определенная зависимость обеспеченности хромом осадочных пород от их механического состава. В среднем богаче им глинистые породы – лессовидные, аллювиальные, делювиальные [11].

Среднее содержание хрома в почвах мира составляет 200 мг/кг, при этом колебания в незагрязненных почвах весьма значительны – 2-1100 мг/кг [13,14,16]. Кларк хрома в почвах Российской Федерации и стран ближнего зарубежья составляет  $1,9 \cdot 10^{-2}$  %. В почвах тундры его содержание колеблется в пределах  $5 \cdot 10^{-4}$ - $2,3 \cdot 10^{-2}$  %, дерново-подзолистых –  $2,2 \cdot 10^{-3}$ - $2,95 \cdot 10^{-2}$ , серых лесных –  $2,7 \cdot 10^{-3}$ - $7,6 \cdot 10^{-2}$ , черноземах –  $1,6 \cdot 10^{-2}$ - $6,3 \cdot 10^{-2}$ , красноземах –  $1 \cdot 10^{-2}$ - $2,6 \cdot 10^{-2}$ , сероземах и каштановых почвах –  $1,1 \cdot 10^{-2}$ - $5,7 \cdot 10^{-2}$  % [1, 5, 14].

Обширный аналитический материал, опубликованный Е.В. Тонконоженко [11], показывает прямую зависимость содержания хрома в почвах Краснодарского края от обеспеченности им почвообразующих пород. В то же время, как показывают его данные, почвообразование приводит к некоторому выравниванию количества хрома в почвах. В среднем в большинстве почв этого элемента содержится менее 60 мг/кг, больше его только в черноземах малогумусных, выщелоченных, горнолуговых почвах и солонцах луговых.

Формы, подвижность и миграция хрома в почве определяются:

- 1) содержанием и характером его соединений в почвообразующих породах;
- 2) составом и условиями формирования почвы, содержанием в ней глинистых минералов, свободных полуторооксидов железа и алюминия, реакцией среды, водным и окислительно-восстановительным режимом;
- 3) равновесием между органическими и минеральными соединениями элемента в системе «почва-растение» [6, 14].

Распределение хрома по почвенному профилю зависит от почвообразовательного процесса. Исследованиями И.Н. Любимовой [6] показано, что оно практически не зависит от содержания гумуса, а в большей степени обуславливается механическим составом, в частности, накопление элемента связано с наличием илистой фракции. В почвах дерново-подзолистой зоны в результате процесса оподзоливания происходит обеднение верхней части профиля тонкодисперсными частицами и соединениями полуторных оксидов, которые выносятся и концентрируются в иллювиальных горизонтах. Вместе с ними мигрирует и хром, поэтому содержание и распределение его в этих почвах идет параллельно изменению в них количества алюминия, железа и илистой фракции. Относительное содержание хрома в илистой фракции этих типов почв ниже всего в горизонте  $A_2$ , наибольшее – в горизонтах **B** и **C**. Распределение хрома по профилю каштановой и солонцовой почв равномерное. В лугово-глеевых и дерново-глеевых почвах, образовавшихся под травянистой растительностью, отмечается обогащение гумусовых горизонтов и закономерное уменьшение содержания хрома с глубиной. Такой характер распределения элемента в этих почвах объясняется его биогенной аккумуляцией [9, 14, 16]. Для бурых лесных и бурых псевдоподзолистых почв, образовавшихся под древесной растительностью, характерно уменьшение содержания хрома в верхних гумусовых горизонтах по сравнению с почвообразующей породой.

По профилям черноземов хром распределен довольно равномерно. Преобладающего накопления его в гумусово-аккумулятивном горизонте не наблюдается. Проиллюстрируем это на разрезе чернозема выщелоченного, сделанного Е.В. Тонконоженко (таблица 3; [11]).

Таблица 3 – Распределение хрома по профилю чернозема выщелоченного

| Горизонт       | Глубина взятия образца, см | pH водная | Хром валовой, мг/кг |
|----------------|----------------------------|-----------|---------------------|
| A <sub>1</sub> | 0-10                       | 7,6       | 59                  |
| A <sub>1</sub> | 10-20                      | 6,8       | 68                  |
| A <sub>1</sub> | 20-30                      | 6,9       | 68                  |
| B <sub>1</sub> | 60-70                      | 6,9       | 87                  |
| B <sub>2</sub> | 90-100                     | 6,9       | 74                  |
| C              | 160-170                    | 7,0       | 68                  |

В иллювиальном горизонте почвы хрома содержалось больше, чем в гумусово-аккумулятивном и почвообразующей породе. По-видимому, есть некоторое выщелачивание элемента из верхних слоев профиля почвы, в результате периодически промывного водного режима. Более высокое содержание в иллювиальном горизонте илистых частиц, полуторных оксидов алюминия и железа сопровождается аккумуляцией в нем хрома. Это подтверждает известный параллелизм в содержании железа и хрома в почвах [1, 6, 15].

Содержание хрома в поверхностном слое почвы возрастает в результате естественных (природных) и искусственных (антропогенных) процессов. К естественным относят извержение вулканов, пыльные бури, лесные и степные пожары, морские соли, поднятые ветром, растительность. Поступление элемента этим путем мало влияет на валовое его содержание. Главным и наиболее существенным источником поступления хрома в почву являются промышленные отходы (гальванические осадки, отходы кожевенных заводов и производств, где хром используется в составе пигментов красителей) и осадки сточных вод. Он также поступает с пестицидами, химическими мелиорантами, органическими и в меньшей степени минеральными удобрениями, главным образом фосфорными. Отечественное фосфатное сырье является самым «обедненным» в отношении содержания хрома по сравнению с мировыми аналогами [13-15].

В почвах хром представлен следующими формами его соединений: 1) неподвижный; 2) прочносвязанный в составе первичных и частично вторичных глинистых минералов, с полуторными гидроксидами алюминия

и железа; 3) обменносвязанный на поверхности полуторных оксидов и глинистых минералов; 4) связанный с органическим веществом почв; 5) водорастворимые соединения [6, 15].

Легкорастворимые и обменные формы хрома, появляющиеся спонтанно в результате биологических процессов, воздействия корневой системы, микроорганизмов, наличия в почвенном растворе органических кислот и углекислоты, – эфемерны. Сорбированные, вначале непрочно, ионы хрома образуют химические труднорастворимые соединения (хемосорбированное состояние) и со временем окклюдироваться гидроксидами алюминия и железа, прочно фиксируются гумусом [6-14].

Хром относится к группе элементов среднего захвата и слабого накопления. Коэффициент биологического поглощения хрома равен единице [1, 8, 16]. Имеются данные о положительном влиянии этого элемента на физико-биохимические процессы [3] и продуктивность растений [2, 11, 16].

**Цель исследований** – оценка и прогноз состояния хромового статуса чернозема выщелоченного в условиях агрогенеза.

**Методика.** Исследования проводились после завершения третьей ротации 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота стационарного опыта кафедры агрохимии Кубанского госагроуниверситета учебного хозяйства «Кубань», расположенного в Центральной агроклиматической зоне Краснодарского края.

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный слабогумусный сверхмощный легкоглинистый на лессовидных тяжелых суглинках. Основные агрохимические показатели, характеризующие хромовый статус почвы до закладки эксперимента (1981 г.), приведены в соответствующих таблицах данной статьи и опубликованных ранее работах [10, 11].

Для выявления действия системы удобрения севооборота на содержание хрома в почве с неудобренного и ежегодно удобряемого варианта (за три ротации севооборота было внесено  $N_{1740}P_{1740}K_{1160}$ ) с каждой по-

вторности опыта отбирали почвенные образцы из пахотного 0–20 см и подпахотного 21–40 см слоя. Хром в почве определяли атомно-абсорбционным методом: валовое содержание – в растворе разложения почвы минеральными кислотами; кислоторастворимые – в 1 н HCl вытяжке; подвижные – в вытяжке ацетатно-аммонийным буферным раствором с рН 4,8; резервные – находили по разности между валовым количеством и кислоторастворимой формой.

**Результаты исследований.** Валовое содержание хрома в черноземе выщелоченном значительно ниже его кларка в земной коре, литосфере и почвах мира (таблица 4). В пахотном слое содержание этого элемента в 1981 г., т.е. до закладки опыта, составляло 70,5 мг/кг, подпахотном – 78,0 мг/кг. При этом в буферную вытяжку по обоим слоям переходило 0,01 мг/кг хрома, кислоторастворимую – 5,0 мг/кг. Кислотонерастворимого хрома в почве содержалось – 65,5 мг/кг в пахотном и 73,0 мг/кг – подпахотном слое.

Таблица 4 – Содержание хрома и формы его соединений в черноземе выщелоченном, мг/кг

| Вариант   | Слой почвы, см | Хром валовой | Формы соединений хрома |                    |                                  |
|---|----------------|--------------|------------------------|--------------------|----------------------------------|
|   |                |              | подвижный              | кислоторастворимый | кислотонерастворимый (резервный) |
| До освоения севооборота                               | 0-20           | 70,5         | 0,01                   | 5,0                | 65,5                             |
|   | 21-40          | 78,0         | 0,01                   | 5,0                | 73,0                             |
| После трех ротаций севооборота                        |                |              |                        |                    |                                  |
| Без удобрений   | 0-20           | 70,1         | 0,01                   | 4,8                | 65,3                             |
|   | 21-40          | 77,8         | 0,01                   | 4,9                | 72,9                             |
| N <sub>1740</sub> P <sub>1740</sub> K <sub>1160</sub> | 0-20           | 70,7         | 0,02                   | 5,2                | 65,5                             |
|   | 21-40          | 78,3         | 0,02                   | 5,1                | 73,2                             |

После трех ротаций севооборота без применения удобрений содержание хрома в почве незначительно уменьшилось: в пахотном слое на

0,6 %, подпахотном – на 0,3 %. При этом количество подвижного хрома в почве осталось на прежнем уровне, а содержание кислоторастворимых и кислотонерастворимых соединений элемента несколько уменьшилось.

Систематическое внесение минеральных удобрений на поля севооборота способствовало очень незначительному увеличению валового содержания хрома и всех форм его соединений в почве. Наблюдаемая слабая тенденция накопления хрома в почве объясняется его поступлением в виде примесей с вносимыми на поля севооборота минеральными удобрениями и слабой биологической аккумуляцией.

Академик В.Г. Минеев [7] в своем выступлении на научно-практической конференции «Тяжелые металлы и радионуклиды в агроэкосистемах» (М., 21-24 декабря 1992 г.) сказал: «Что же касается тяжелых металлов, то в химическом составе минеральных удобрений их нет. Они являются примесью, сопутствующими элементами, попадающими с сырьем или вследствие несовершенства технологических приемов их производства... В связи с высоким качеством российских агрохимических руд, минеральные удобрения отличаются низким содержанием тяжелых металлов. Поэтому с учетом доз применения, они с точки зрения загрязнения тяжелыми металлами, не представляют опасности».

Проведенные исследования подтверждают, что принятая система удобрений севооборота не ведет к антропогенному загрязнению почвы хромом. Содержание его в черноземе выщелоченном значительно ниже предельно допустимой концентрации (100 мг/кг) в почве.

### **Заключение**

1. Валовое содержание хрома (70,1-78,3 мг/кг) в черноземе выщелоченном значительно ниже кларка почв мира (100 мг/кг). Доля подвижной, кислоторастворимой и кислотонерастворимой форм соединений элемента составляет соответственно 0,01; 7,09 и 92,9 % валового его содержания.

2. После трех ротаций 11-польного зерно-травяно-пропашного севооборота без внесения минеральных удобрений содержание хрома в черноземе выщелоченном не претерпело существенных изменений, даже в какой-то степени наметилась тенденция его уменьшения. Это свидетельствует об отсутствии серьезных природных источников поступления хрома в почву.

3. Научно-обоснованная система удобрения сельскохозяйственных культур не ведет к антропогенному загрязнению чернозема выщелоченного хромом. Вынос этого элемента с урожаями сельскохозяйственных культур севооборота компенсируется его поступлением в виде балласта с минеральными удобрениями.

#### Литература

1. Виноградов А.П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А.П. Виноградов. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 238 с.
2. Dastur R.H. Исследования влияния микроэлементов на рост и урожай американского хлопчатника / R.H. Dastur, K. Singh // Сельское хозяйство зарубежом. 1955. №4. С. 54-62.
3. Добролюбский О.К. Влияние хрома, молибдена и вольфрама на содержание пигментов, фотосинтез и продуктивность виноградного растения / О.К. Добролюбский, В.Г. Страхов // Агрохимия, 1983. №3. С. 96-102.
4. Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
5. Ковда В.А. Микроэлементы в почвах Советского Союза / В.А. Ковда, И.В. Якушевская, А.Н. Тюрюканов. – М.: МГУ, 1959. – 67 с.
6. Любимова И.Н. Содержание и формы соединений молибдена, ванадия и хрома в почвах / И.Н. Любимова // Содержание и формы соединений микроэлементов в почвах. – М.: Изд-во МГУ, 1979. С. 224-293.
7. Минеев В.Г. Проблема тяжелых металлов в современном земледелии / Тяжелые металлы и радионуклиды в агроэкосистемах / В.Г. Минеев. – М., 1994. – С. 5-11.
8. Перельман А.И. Геохимия / А.И. Перельман. – М.: Высшая школа, 1989. – 528 с.
9. Приходько Н.Н. Ванадий, хром, никель и свинец в почвах Притиссенской низменности и предгорий Закарпатья / Н.Н. Приходько // Агрохимия. 1977. №4. С. 95-100.
10. Суетов В.П. Влияние систематического применения удобрений на накопление тяжелых металлов в почвах Кубани / В.П. Суетов, Л.П. Леплявченко, В.П. Суетов // Тр. КубГАУ. 1997. Вып. 358(386). С. 54-61.
11. Тонконоженко Е.В. Хром в почвах и растениях Краснодарского края / Е.В. Тонконоженко // Тр. КубСХИ. 1974. Вып. 81(109). С. 51-58.
12. Тяжелые металлы в системе почва-растение-удобрение / Под ред. М.М. Овчаренко. – М.: ЦИНАО, 1997. – 290 с.
13. Черных Н.А. Тяжелые металлы и радионуклиды в биогеоценозах / Н.А. Черных, М.М. Овчаренко. – М.: Агроконсалт, 2002. – 200 с.

14. Шеуджен А.Х. Агробιοгеохимия / А.Х. Шеуджен. – Краснодар: КубГАУ, 2010. – 877 с.
15. Шеуджен А.Х. Агροхимия / А.Х. Шеуджен, В.Т. Куркаев, Н.С. Котляров. – Майкоп: Изд-во «Афиша», 2006. – 1075 с.
16. Шеуджен А.Х. Биогеохимия / А.Х. Шеуджен. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2003. – 1028 с.

### References

1. Vinogradov A.P. Geokhimiya redkikh i rasseyannykh khimicheskikh elementov v pochvakh / A.P. Vinogradov. – M.: Izd-vo AN SSSR, 1957. – 238 s.
2. Dastur R.H. Issledovaniya vliyaniya mikroelementov na rost i urozhay amerikanskogo khlopchatnika / R.H. Dastur, K. Singh // Sel'skoye khozyaystvo zarubezhom. 1955. №4. S. 54-62.
3. Dobrolyubskiy O.K. Vliyaniye khroma, molibdena i vol'frama na sodержaniye pigmentov, fotosintez i produktivnost' vinogradnogo rasteniya / O.K. Dobrolyubskiy, V.G. Strakhov // Agrokimiya, 1983. №3. S. 96-102.
4. Kabata-Pendias A. Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh / A. Kabata-Pendias, K.H. Pendias. – M.: Mir, 1989. – 439 s.
5. Kovda V.A. Mikroelementy v pochvakh Sovetskogo Soyuza / V.A. Kovda, I.V. Yakushevskaya, A.N. Tyuryukanov. – M.: MGU, 1959. – 67 s.
6. Lyubimova I.N. Soderzhaniye i formy soyedineniy molibdena, vanadiya i khroma v pochvakh / I.N. Lyubimova / Soderzhaniye i formy soyedineniy mikroelementov v pochvakh. – M.: Izd-vo MGU, 1979. S. 224-293.
7. Mineyev V.G. Problema tyazhelykh metallov v sovremennom zemledelii / Tyazhelyye metally i radionuklidy v agroekosistemakh / V.G. Mineyev. – M., 1994. – S. 5-11.
8. Perel'man A.I. Geokhimiya / A.I. Perel'man. – M.: Vysshaya shkola, 1989. – 528 s.
9. Prikhod'ko N.N. Vanadiy, khrom, nikel' i svinets v pochvakh Pritissenskoй nizmenosti i predgoriy Zakarpat'ya / N.N. Prikhod'ko // Agrokimiya. 1977. №4. S. 95-100.
10. Suyetov V.P. Vliyaniye sistemacheskogo primeneniya udobreniy na nakopleniye tyazhelykh metallov v pochvakh Kubani / V.P. Suyetov, L.P. Leplyavchenko, V.P. Suyetov / Tr. KubGAU. 1997. Vyp. 358(386). S. 54-61.
11. Tonkonozhenko Ye.V. Khrom v pochvakh i rasteniyakh Krasnodarskogo kraya / Ye.V. Tonkonozhenko / Tr. KubSKHI. 1974. Vyp. 81(109). S. 51-58.
12. Tyazhelyye metally v sisteme pochva-rasteniye-udobreniye / Pod red. M.M. Ovcharenko. – M.: TSINAO, 1997. – 290 s.
13. Chernykh N.A. Tyazhelyye metally i radionuklidy v biogeotsenozakh / N.A. Chernykh, M.M. Ovcharenko. – M.: Agrokonsalt, 2002. – 200 s.
14. Sheudzhen A.KH. Agrobiogeokhimiya / A.KH. Sheudzhen. – Krasnodar: KubGAU, 2010. – 877 s.
15. Sheudzhen A.KH. Agrokimiya / A.KH. Sheudzhen, V.T. Kurkayev, N.S. Kotlyarov. – Майкоп: Изд-во «Афиша», 2006. – 1075 с.
16. Sheudzhen A.KH. Biogeokhimiya / A.KH. Sheudzhen. – Майкоп: GURIPP «Адыгея», 2003. – 1028 с.