

kormovye ugodya – pashnya» // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2014. – № 6 (116). – S. 83-88.

12. Kirilov N.A., Volkov A.I. Priemy vosproizvodstva plodorodiya dernovo-podzolistykh pochv // Agrarnaya nauka – selskomu khozyaystvu: sbornik statey: v 3 kn. / VII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya (2-3 fevralya 2012 g.). – Barnaul: Izd-vo AGAU, 2012. – Kn. 2. – S. 164-165.

13. Kosolapova A.I., Popova S.I., Mikhaylova L.A. i dr. Agroekologicheskaya rol polevykh sevooborotov v usloviyakh opolnykh landshaftov Preduralya // Agrarnyy vestnik Urala. – 2012. – № 2 (94). – S. 7-9.

14. Lednev N.A. Kovrigo V.P., Lednev A.V. Vliyanie udobreniy i siderata na vosproizvodstvo plodorodiya dernovo-podzolistykh pochv // Vestnik Rossiyskoy akademii selskokhozyaystvennykh nauk. – 2012. – № 3. – S. 21-24.

15. Rusakova I.V. Resursosberegayushchie tekhnologii ispolzovaniya rastitelnykh ostatkov // Agrokhimicheskyy vestnik. – 2012. – № 3. – S. 40-42.

16. Rusakova I.V. Vosproizvodstvo plodorodiya pochv na osnove ispolzovaniya vozobnovlyaemykh bioresursov // Agrokhimicheskyy vestnik. – 2013. – № 4. – S. 7-12.

17. Tyslenko L.M., Novikov M.N. Otsenka sredouluchshayushchikh kormovykh rasteniy v sisteme khozyaystvennogo ispolzovaniya vosproizvodstva plodorodiya pochv // Agrokhimicheskyy vestnik. – 2013. – № 4. – S. 35-38.

18. Safonov A.F. Vosproizvodstvo plodorodiya pochv agrolandshaftov: uchebnoe posobie dlya prakticheskikh zanyatiy. – M.: Izd-vo RGAU MSKhA, 2013. – 90 s.

19. Kuzmenko N.N. Effektivnost dlitel'nogo primeneniya raznykh sistem udobreniy v lnyanom sevooborote i ikh vliyanie na izmenenie zapasov gumusa v dernovo-podzolistoy pochvy // Agrokhimiya. – 2014. – № 4. – S. 35-39.

20. Biologicheskyy azot i ego rol v zemledelii / pod obshch.red. E.N. Mishustina. – M.: Nauka. 1967. – 366 s.

21. Gamzikov G.P. Agrokhimiya azota v agrotsenozakh / Ros. akad. s.-kh. nauk, Sib. otd-nie. Novosib. gos. agrar. un-t. – Novosibirsk, 2013. – 790 s.

22. Sokolov O.A., Shmyreva N.Ya., Zavalin A.A., Chernikov V.A. Rol simbioticheskogo azota i ustoychivost ego tsiklov pri vyrashchivani mnogoletnykh trav na sklone // Plodorodie. – 2016. – № 1 (88). – S. 50-52.

23. Mudrykh N.M., Samofalova I.A. Opyt ispolzovaniya rastitelnykh ostatkov v pochvakh Nechernozemnoy zony Rossii (obzor) // Nauchno-prakticheskyy zhurnal Permskiy agrarnyy vestnik. – 2017. – № 1 (17). – S. 88-97.

24. Zhandarova S.V., Sakhnyukova E.N., Morkovkin G.G. Vliyanie odnoletnykh sideratov na dinamiku zapasov mineralnykh form azota v pochve // Agrarnaya nauka – selskomu khozyaystvu: sbornik statey: v 3 kn. / VIII Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya (6-7 fevralya 2013 g.). – Barnaul: RIO AGAU, 2013. – Kn. 2. – S. 330-331.



УДК 636:631.416.9(571.15)

А.А. Томаровский, С.Ф. Спицына, Г.В. Оствальд  
A.A. Tomarovskiy, S.F. Spitsyna, G.V. Ostwald

**СПЕЦИФИКА МИКРОЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА РАСТЕНИЙ  
ЕСТЕСТВЕННЫХ ЦЕНОЗОВ И АГРОЦЕНОЗОВ  
В ЗОНАХ СУХОЙ И КОЛОЧНОЙ СТЕПИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ**

**SPECIFIC FEATURES OF PLANT TRACE ELEMENT COMPOSITION  
IN NATURAL AND AGRICULTURAL CENOSIS IN THE ZONES OF DRY  
AND FOREST-OUTLIER STEPPE OF THE ALTAI REGION**

**Ключевые слова:** биогеоценозы, агроценозы, микроэлементный состав растений, бор, медь, молибден, марганец, цинк, кобальт, коэффициент биологического поглощения, зона сухой степи, зона колючной степи.

**Keywords:** biogeocenosis, agro-cenosis, trace element composition of plants, boron, copper, molybdenum, manganese, zinc, cobalt, biological absorption coefficient, dry steppe zone, forest-outlier steppe zone.

Основными объектами исследований являются данные о поведении микроэлементов в системе почва-растения в период 1990-2006 гг. на территории различных зон Алтайского края. Особое внимание уделено микроэлементному составу естественной растительности и растениям агроценозов зоны каштановых почв сухой степи. Для решения вопросов, связанных с поведением микроэлементов в системе почва-растения в агроценозах, используются соответствующие данные по природным экосистемам различных почвенно-климатических зон Алтайского края. Вопрос о повышенной значимости тех или иных микроэлементов для растений биогеноценозов и агроценозов решен с учетом данных о микроэлементном составе растений отдельных видов, родов и семейств. Для выявления значимости и дефицитности для растений тех или иных микроэлементов используются коэффициенты, отражающие: отношение содержания элементов в золе растений ( $P$ , мг/кг) к его валовому содержанию в почве ( $N$ , мг/кг); КБП – коэффициент биологического поглощения) и коэффициент, отражающий отношение содержания микроэлемента в золе растений ( $P$ , мг/кг) к содержанию в почве подвижных форм элемента ( $n$ , мг/кг). Установлено, что среднее содержание микроэлементов в естественной растительности в сухой зоне каштановых почв составляет (в мг/кг): Cu – 6; Mo – 0,7; Mn – 60; Zn – 25; Co – 0,3; B – 5,0. Оно немного меньше, чем в зоне черноземов умеренно засушливой колючей степи. По содержанию в естественной растительности в обеих зонах микроэлементы можно расположить в ряд: Mn, Zn > Cu, B > Mo, Co. По величинам КБП в естественной растительности микроэлементы выстраиваются в ряд: Zn, Mo > Cu, B > Mn, Co. Коэффициенты биологического поглощения в естественной растительности составляют: у цинка в сухой степи – 11,4; в колючей степи – 8,6; у молибдена в сухой степи – 12,4, в колючей степи – 12,8; у марганца в сухой степи – 1,0, в колючей степи – 1,1; у кобальта в сухой степи – 0,4, в колючей степи – 0,5. Средние величины содержания микроэлементов в культурных растениях соизмеримы с величинами содержания их в естественной растительности соответствующих зон.

The research target was the data on the behavior of trace elements in the soil-plant system in the 1990-2006 timeframe in the territory of various zones of the Altai Region. Special attention was paid to the trace element composition of natural vegetation and plants of the agro-cenosis of the chestnut soil zone of the dry steppe. To address the issues related to trace element behavior in the soil-plant system of agro-cenosis, the relevant data on natural ecosystems of various soil-climatic zones of the Altai Region was used. The issue of higher importance of certain trace elements for the plants of biogeocenosis and agro-cenosis was studied taking into account the data on the trace element composition of plants of individual species, genera and families. To determine the importance and deficiency of trace elements for plants, we used the coefficients that reflected the following: the ratio of the element content in plant ash ( $P$ , mg kg) to its gross content in the soil ( $N$ , mg kg); biological absorption coefficient; and coefficient reflecting the ratio of trace element content in plant ash ( $P$ , mg kg) to soil content of mobile element forms ( $n$ , mg kg). The following average values of trace element content in natural vegetation of the dry zone of chestnut soils was found (mg kg): Cu – 6; Mo – 0.7; Mn – 60; Zn – 25; Co – 0.3; B – 5.0. The values were slightly smaller than those in the zone of chernozems of temperate-arid forest-outlier steppe. In terms of trace element content in natural vegetation in both zones, the trace elements may be arranged in the following order: Mn, Zn > Cu, B > Mo, Co. In terms of biological absorption coefficient values in natural vegetation, the trace elements are arranged as following: Zn, Mo > Cu, B > Mn, Co. The values of biological absorption coefficients in natural vegetation were as following: zinc – 11.4 (dry steppe), 8.6 (forest-outlier steppe); molybdenum – 12.4 (dry steppe), 12.8 (forest-outlier steppe); manganese – 1.0 (dry steppe), 1.1 (forest-outlier steppe); cobalt – 0.4 (dry steppe), 0.5 (forest-outlier steppe). The average values of trace element content in cultivated plants are comparable with those in the natural vegetation of the corresponding zones.

**Томаровский Алексей Анатольевич**, к.с.-х.н., доцент, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-80-31. E-mail: tom486@yandex.ru.

**Спицына Светлана Федоровна**, д.с.-х.н., проф., Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-84-09. E-mail: tom486@yandex.ru.

**Оствальд Галина Викторовна**, к.х.н., доцент, зав. каф. химии, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-84-09. E-mail: ostvaldgv@mail.ru.

**Tomarovskiy Aleksey Anatolyevich**, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-80-31. E-mail: tom486@yandex.ru.

**Spitsyna Svetlana Fyodorovna**, Dr. Agr. Sci., Prof., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-84-09. E-mail: tom486@yandex.ru.

**Ostwald Galina Viktorovna**, Cand. Chem. Sci., Assoc. Prof., Head, Chair of Chemistry, Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-84-09. E-mail: ostvaldgv@mail.ru.

### Введение

Неравномерное распределение микроэлементов в почвах влияет на их содержание в растениях. Микроэлементный состав растений изучался многими исследователя-

ми [1-14]. В результате было установлено, что микроэлементный состав является систематическим признаком растений и зависит от многих внутренних и внешних факторов, в т.ч. от климата.

Изучение микроэлементного состава растений биогеоценозов и агроценозов различных почвенно-климатических зон Алтайского края дает возможность выявить зависимость его от внешних условий, видового состава и генотипа растений.

Растительность биогеоценозов лучше, чем растительность агроценозов, адаптирована к внешним условиям. Благодаря многообразию видов она использует все возможные механизмы, имеющиеся у растений, для противостояния засухе, заморозкам и другим неблагоприятным условиям произрастания растений. Эта растительность приспосабливается к пищевым ресурсам местности, экономно используя дефицитные элементы и ограждая себя от поглощения элементов, избыточно содержащихся в почве.

Изучение этих вопросов применительно к зоне сухой степи особенно значимо, т.к. здесь в результате освоения целинных, залежных земель и эрозионных процессов практически полностью были утрачены земли с естественной растительностью, что тормозит процесс изучения влияния микроэлементов, содержащихся в ней, на их адаптивность.

Естественная растительность формирует химический состав в соответствии со своими потребностями, предусматривающими осуществление метаболизма с оставлением потомства, в том числе за счет приспособляемости к неблагоприятным внешним условиям. Она благодаря многообразию через свой химический состав может отразить предпочтительное отношение видов, родов и семейств растений к отдельным микроэлементам. Изучение этой проблемы необходимо для формирования питательного режима растений в агроценозах, где нарушен круговорот микроэлементов, что увеличивает вероятность их дефицита для растений.

Рассмотрение этих вопросов на фоне специфики внешних условий в различных почвенно-климатических зонах Алтайского края дает возможность выявить закономерности поведения микроэлементов в системе почва-растения в зависимости от климата и те элементы, которые наиболее значимы для растений. Изучение поведения микроэлементов в системе почва-растения применительно к агроценозам с использованием знаний о закономерностях, присутствующих для биогеоценозов, дает возможность научно обосновать факты достатка, недостатка или избытка микроэлементов для растений и разработать систему микро-

удобрений, оптимизируя питательный режим культурных растений, избегая применения избыточных микроэлементов, обеспечивая экономическую целесообразность и экологическую безопасность.

### Объекты и методы исследований

Основными объектами исследований были архивные данные и данные авторов статьи о поведении микроэлементов в системе почва-растения в период 1990-2006 гг. на территории различных зон Алтайского края. Особое внимание уделялось микроэлементному составу естественной растительности и растениям агроценозов зоны каштановых почв сухой степи.

Теоретической основой данной работы является общеизвестный факт нарушения биологического круговорота химических элементов при переходе природной экосистемы в экосистему агроценоза.

Для решения некоторых вопросов, связанных с поведением микроэлементов в системе почва-растения, были использованы соответствующие данные по природным экосистемам различных почвенно-климатических зон: зоны каштановых почв сухой степи и подзоны черноземов обыкновенных и выщелоченных колючей степи. Вопрос о повышенной значимости тех или иных микроэлементов для растений биогеоценозов и агроценозов решался с учетом данных о микроэлементном составе растений отдельных видов, родов и семейств. Для выявления значимости и дефицитности для растений тех или иных микроэлементов были использованы коэффициенты биологического поглощения, представляющие собой отношение содержания элементов в золе растений ( $P$ , мг/кг) к его валовому содержанию в почве ( $N$ , мг/кг; коэффициент, отражающий отношение содержания микроэлемента в золе растений ( $P$ , мг/кг) к содержанию в почве подвижных форм элемента ( $n$ , мг/кг).

### Результаты исследований

Данные о микроэлементном составе естественной растительности зоны каштановых почв сухой степи и подзоны черноземов обыкновенных и выщелоченной колючей степи представлены в таблице 1.

Растения естественных экологических систем за тысячи лет подверглись естественному отбору, который участвовал в создании форм, адаптированных к данным почвенно-климатическим условиям и способных давать потомство даже при экстремальных условиях.

**Среднее содержание микроэлементов в естественной растительности сухой степи и колючей степи Алтайского края, мг/кг**

Растения	Микроэлементы					
	Cu	Mo	Mn	Zn	Co	B
Сухая степь						
Типчак, ковыль	5	0,3	80	15	0,3	8
Пырей ползучий, костер безостый, тонконг, житняк	5	0,3	50	20	0,2	3
Полынь, лапчатка	9	1,0	130	30	0,4	10
Люцерна степная, астрагал	6	1,0	50	20	0,2	10
Камыш, осока	6	0,9	60	17	0,2	5
Колючая степь						
Типчак, ковыль	6	0,5	85	19	0,3	6
Пырей ползучий, костер безостый, тонконог, житняк	6	0,5	60	30	0,3	6
Полынь, лапчатка	10	1,0	100	30	0,4	10
Люцерна степная, астрагал	7	1,0	50	20	0,2	10
Камыш, осока	9	0,5	60	40	0,2	8

Многолетняя адаптация видов растений к неблагоприятным условиям произрастания осуществляется за счет различных механизмов с участием микроэлементов. Микроэлементы, концентрируясь в тканях растений, повышают их вязкость, упругость и водоудерживающую способность, следовательно, и устойчивость растений к засухе, заморозкам и другим неблагоприятным условиям произрастания [15-17].

Микроэлементный состав растений формируется эволюционно и передается по наследству. Он зависит от генотипа и своеобразен в каждой почвенно-климатической зоне.

Судя по пределам колебаний и средним величинам (табл. 2) естественная растительность сухой степи по сравнению с колючей степью характеризуется несколько более низким содержанием меди и цинка.

На территории сухой степи преобладают (65-75%) злаковые (типчак, ковыль).

Из разнотравья здесь встречаются полынь, лапчатка, гвоздика, а на пониженных местах – морковник, гранатник, осока, камыш. Из бобовых распространены астрагал и люцерна степная. В среднем на территории сухой степи содержание составляет (в мг/кг): меди – 6; молибдена – 0,7; мар-

ганца – 60; цинка – 25; кобальта – 0,3; бора – 5,0. На территории колючей степи эти показатели немного выше: меди – 7 мг/кг; молибдена – 0,8; марганца – 80; цинка – 25; кобальта – 0,5; бора – 7 мг/кг.

Относительно повышенное содержание некоторых микроэлементов в естественной растительности колючей степи по сравнению с сухой степью связано с более влажными гидротермическими условиями и тем, что в колючей степи среди злаковых значительно шире распространено разнотравье: горечник, зопник, гранатник, таволжанка и бобовые: вика и мышиный горошек, характеризующееся относительно высоким содержанием некоторых микроэлементов.

В зоне сухой степи самым высоким содержанием меди и марганца характеризуются лапчатка и полынь (меди – >9 мг/кг; марганца – >80 мг/кг). В зоне колючей степи многие растения из разнотравья содержат меди – >8 мг/кг (горечник, зопник, гранатник, таволжанка, полынь, гвоздика). Содержание марганца >80 мг/кг наблюдается у таволжанки, полыни и гвоздики.

Таблица 2

**Содержание микроэлементов в естественной растительности зон сухой и колючей степи, мг/кг**

Зона	Микроэлементы					
	Cu	Mo	Mn	Zn	Co	B
Сухая степь	4-8	0,2-1,0	40-180	8-40	0,1-0,4	1-12
	6	0,7	60	25	0,3	5,0
Колючая степь	5-9	0,4-1,0	50-200	10-50	0,2-0,6	5-15
	7	0,8	80	27	0,5	7,0

Примечание. \*Числитель – пределы колебаний, знаменатель – среднее содержание.

В обеих зонах по сравнению с другими микроэлементами наблюдается повышенное содержание марганца – >80 мг/кг, цинка – >35 мг/кг, меди – >8 мг/кг.

Интенсивность поглощения микроэлементов и значимость каждого из них для растений можно определить с помощью КБП – коэффициента биологического поглощения (табл. 3). Величины КБП, зависящие от валового содержания элемента в почве и золе растений, могут изменяться в зависимости от внешних условий. Так, при сопоставлении данных о КБП микроэлементов естественной растительностью зон Алтайского края было выявлено, что эти показатели в зоне сухой степи по сравнению с колючей степью более высоки по меди, цинку, кобальту и бору (табл. 3). Активизацию поглощения растениями можно связать с сухостью климата в этой зоне, что способствовало повышению потребности растений в этих элементах, увеличивающих устойчивость растений к неблагоприятным условиям произрастания. В колючей степи в связи с более влажными условиями по сравнению с сухой степью наблюдалось более высокое содержание в почве подвижных форм (n, мг/кг) меди, молибдена и марганца. Это отразилось на коэффициентах (P/n), характеризующих отношение элемента в золе растения (P, мг/кг) к содержанию в почве его подвижных форм (n, мг/кг).

Преобладание «P» над «n» говорит о высокой значимости элемента и возможной его дефицитности для растений в связи с высокой потребностью. Судя по величинам

«P/n», наиболее дефицитными для растений естественных ценозов могут быть цинк, бор и молибден.

Поведение микроэлементов в системе почва-растение в естественных условиях в значительной степени объясняет их поведение в агроценозах.

Данные о содержании микроэлементов в растениях агроценозов представлены в таблице 4. На территории зоны сухой степи наблюдается высокое содержание меди у подсолнечника – 7-12 мг/кг, марганца у гречихи – 110-120 мг/кг; цинка у семян подсолнечника – 28-40 мг/кг и зерна гречихи – 30-40 мг/кг; кобальта у соломы гречихи – 0,4-1,0 мг/кг; бора у семян подсолнечника – 10-30 мг/кг и зеленой массы подсолнечника – 20-30 мг/кг.

На территории зоны колючей степи высокое содержание наблюдается меди у семян подсолнечника – 7-12 мг/кг и у зерна гречихи – 7-12 мг/кг; марганца у зерна и соломы гречихи – 100-190 мг/кг; цинка у зеленой массы кукурузы; кобальта у зерна гречихи – 0,5-1,0 мг/кг; бора у подсолнечника 6-26 мг/кг. По содержанию в сухом веществе естественной растительности (в мг/кг) микроэлементы расположились в ряд: Mn>Zn>Cu, B>Mo,Co.

Интенсивность накопления микроэлементов растениями и коэффициенты биологического поглощения показали, что по величинам КБП (табл. 5) в обеих зонах по всем культурам микроэлементы располагаются в ряд: Zn,Mo>Cu,B>Mn,Co. Такой же ряд характерен и для естественной растительности обеих зон.

Таблица 3

**Содержание микроэлементов в естественной растительности и коэффициенты биологического поглощения (КБП)**

Показатели	Микроэлементы					
	Cu	Mo	Mn	Zn	Co	B
Сухая степь						
Содержание (I) в сухом веществе растений, мг/кг	6	0,7	60	25	0,3	5,0
Содержание в золе растений (P), мг/кг	96	11,2	960	400	4,8	80
Валовое (N) содержание в почвах, мг/кг	25	0,9	980	35	13	45
Коэффициент биологического поглощения (КБП= P/N)	3,8	12,4	1,0	11,4	0,4	1,8
Содержание в почве подвижных форм (n), мг/кг	4,0	0,05	80	1,0	2,8	0,5
P/n	24	224	12	400	1,7	160
Колючая степь						
Содержание (I) в сухом веществе растений, мг/кг	7	0,8	80	27	0,5	7,0
Содержание в золе растений (P), мг/кг	112	12,8	1280	432	8,0	112
Валовое (N) содержание в почвах, мг/кг	44	1,0	1200	50	17	80
Коэффициент биологического поглощения (КБП= P/N)	2,6	12,8	1,1	8,6	0,5	1,4
Содержание в почве подвижных форм (n), мг/кг	5,3	0,08	100	1,0	2,4	0,5
P/n	21,1	160	12,8	432	3,3	224

Содержание микроэлементов (мг/кг) в сухом веществе культурных растений зон сухой степи и колючей степи Алтайского края

Культуры	Микроэлементы					
	Cu	Mo	Mn	Zn	Co	B
Сухая степь						
Пшеница (зерно)	<u>5-9</u> 7	<u>0,4-0,8</u> 0,6	<u>38-60</u> 45	<u>25-37</u> 30	<u>0,1-0,3</u> 0,8	<u>1,0-2,0</u> 1,8
Пшеница (солома)	<u>3-5</u> 4	<u>0,1-0,6</u> 0,3	<u>45-65</u> 55	<u>20-30</u> 25	<u>0,2-0,5</u> 0,3	<u>1,0-4,0</u> 3,0
Кукуруза (зеленая масса)	<u>6-10</u> 8	<u>0,1-0,5</u> 0,3	<u>60-90</u> 80	<u>20-40</u> 30	<u>0,1-0,4</u> 0,2	<u>2,0-6,0</u> 4,0
Подсолнечник (семя)	<u>7-12</u> 10	<u>0,2-0,6</u> 0,4	<u>40-80</u> 60	<u>28-40</u> 35	<u>0,2-0,5</u> 0,3	<u>10-12</u> 11
Подсолнечник (зеленая масса)	<u>6-10</u> 8	<u>0,3-0,7</u> 0,5	<u>50-100</u> 80	<u>20-30</u> 25	<u>0,3-0,8</u> 0,5	<u>20-30</u> 25
Гречиха (зерно)	<u>5-10</u> 8	<u>0,3-0,7</u> 0,5	<u>110-190</u> 150	<u>30-42</u> 36	<u>0,3-0,8</u> 0,5	<u>5-16</u> 9
Гречиха (солома)	<u>4-10</u> 6	<u>0,2-0,6</u> 0,4	<u>100-200</u> 190	<u>26-37</u> 31	<u>0,4-1,0</u> 0,7	<u>4-15</u> 8
Овес (зерно)	<u>5-9</u> 7	<u>0,4-0,8</u> 0,6	<u>40-60</u> 55	<u>20-45</u> 34	<u>0,2-0,4</u> 0,3	<u>2-3,5</u> 2,5
Овес (солома)	<u>4-8</u> 6,5	<u>0,4-0,6</u> 0,5	<u>50-70</u> 60	<u>20-40</u> 30	<u>0,3-0,5</u> 0,3	<u>2-4,3</u> 3,2
Колючая степь						
Пшеница (зерно)	<u>4-8</u> 6,5	<u>0,2-0,6</u> 0,4	<u>60-100</u> 80	<u>16-40</u> 25	<u>0,2-0,6</u> 0,4	<u>0,6-1,0</u> 0,8
Пшеница (солома)	<u>3,6-7</u> 5,8	<u>0,3-0,5</u> 0,4	<u>70-100</u> 90	<u>15-35</u> 21	<u>0,3-0,7</u> 0,5	<u>0,7-1,2</u> 1,0
Кукуруза (зеленая масса)	<u>3,5-9,0</u> 7,0	<u>0,3-0,7</u> 0,5	<u>80-120</u> 100	<u>20-50</u> 40	<u>0,5-1,0</u> 0,8	<u>0,8-1,4</u> 1,2
Подсолнечник (семя)	<u>7-12</u> 10	<u>0,2-0,6</u> 0,4	<u>40-80</u> 60	<u>20-43</u> 32	<u>0,2-0,5</u> 0,3	<u>6-20</u> 12
Подсолнечник (зеленая масса)	<u>6-10</u> 8	<u>0,2-0,6</u> 0,4	<u>50-100</u> 80	<u>15-36</u> 25	<u>0,3-0,7</u> 0,5	<u>5-26</u> 15
Гречиха (зерно)	<u>7-12</u> 10	<u>0,6-1,0</u> 0,8	<u>90-180</u> 140	<u>30-48</u> 37	<u>0,4-0,8</u> 0,6	<u>8-12</u> 10
Гречиха (зерно)	<u>7-11</u> 9	<u>0,5-0,9</u> 0,7	<u>100-190</u> 160	<u>27-45</u> 30	<u>0,5-1,0</u> 0,8	<u>7-13</u> 1,0
Овес (зерно)	<u>5-9</u> 7	<u>0,3-0,7</u> 0,5	<u>40-60</u> 50	<u>18-39</u> 25	<u>0,3-0,7</u> 0,5	<u>0,8-1,2</u> 1,0
Овес (солома)	<u>4-7</u> 5	<u>0,2-0,7</u> 0,4	<u>45-70</u> 60	<u>18-30</u> 20	<u>0,3-0,8</u> 0,6	<u>0,9-1,5</u> 1,3

Пределы колебаний КБП говорят о том, что в колючей степи эти показатели более низкие, чем в сухой степи, что можно связать с относительно высоким содержанием микроэлементов в почвах и почвообразующих породах зогы черноземов умеренно засушливой колючей степи (табл. 5).

Наиболее высокие КБП и в той, и в другой зоне наблюдаются в культурной растительности относительно цинка – 13,7-16,9 и 8,0-12,8. На втором месте по КБП стоит молибден – 7,1-14,2 и 6,4-12,8. Самыми низкими величинами КБП в обеих зонах характеризуется кобальт (КБП – 0,3-0,7 и 0,3-0,8). Среди культурных растений наиболее высокими КБП микроэлементов отмечена гречиха. Чуть реже – подсолнечник и кукуруза. В естественной раститель-

ности КБП по цинку составляет в зоне сухой степи 11,4, в зоне колючей степи – 8,6. Высокие КБП цинка и молибдена естественной и культурной растительности говорят об их высокой биологической значимости для растений и о том, что эти элементы могут быть дефицитными для многих растений в изучаемых зонах.

Высокая биологическая значимость цинка и молибдена для растений проявилась также при сопоставлении данных о микроэлементном составе вегетативных и генеративных органов пшеницы и подсолнечника. Было установлено, что семена этих культур по сравнению с соломой содержат больше меди, молибдена и цинка и меньше – кобальта и бора (табл. 4).

Содержание микроэлементов в золе растений и коэффициенты биологического поглощения

Показатели	Микроэлементы					
	Cu	Mo	Mn	Zn	Co	B
Сухая степь						
Яровая пшеница (зерно)						
Содержание в золе зерна, мг/кг	112	11,2	720	480	3,2	28,8
Коэффициент биологического поглощения, КБП= $P/N$	4,5	12,4	0,7	13,7	0,3	0,7
$P/n$	28	224	9	480	1,2	57,6
Подсолнечник (семя)						
Содержание в золе семян, мг/кг	160	6,4	960	560	4,8	176
Коэффициент биологического поглощения, КБП= $P/N$	6,4	7,1	1,0	16	0,4	3,9
$P/n$	40	142	12	560	1,7	352
Кукуруза (зеленая масса)						
Содержание в золе растения, мг/кг	128	4,8	1280	480	3,2	64
Коэффициент биологического поглощения, КБП= $P/N$	5,1	5,3	1,3	13,7	0,3	1,4
$P/n$	32	96	16	560	1,1	128
Гречиха (зерно)						
Содержание в золе растения, мг/кг	160	12,8	2240	592	9,6	160
Коэффициент биологического поглощения, КБП= $P/N$	6,4	14,2	2,3	16,9	0,7	3,6
$P/n$	40	256	28	592	3,4	320
Колочная степь						
Яровая пшеница (зерно)						
Содержание в золе зерна, мг/кг	104	6,4	1280	400	36,4	12,8
Коэффициент биологического поглощения, КБП= $P/N$	2,3	6,4	1,0	8,0	0,4	0,2
$P/n$	19,6	80	12,8	400	2,7	256
Подсолнечник (семя)						
Содержание в золе семян, мг/кг	160	12,8	960	512	4,8	192
Коэффициент биологического поглощения, КБП= $P/N$	3,6	12,8	0,8	10,5	0,3	2,4
$P/n$	30,2	160	9,6	512	2,0	384
Кукуруза (зеленая масса)						
Содержание в золе растения, мг/кг	112	8,0	1600	640	12,8	19,2
Коэффициент биологического поглощения, КБП= $P/N$	2,6	8,0	1,3	12,8	0,8	5,3
$P/n$	21,4	100	16,0	640	5,3	38,4
Гречиха (зерно)						
Содержание в золе растения, мг/кг	160	12,8	2240	592	9,6	160
Коэффициент биологического поглощения, КБП= $P/N$	3,6	12,8	1,9	11,8	0,6	2,0
$P/n$	30,2	160	22,4	592	4,0	320

Высокая биологическая значимость цинка и молибдена у естественной растительности и культурных растений исследуемых зон сопряжена с вероятностью дефицитности их для питания растений.

Высокая степень вероятной дефицитности для растений молибдена и цинка проявилась в коэффициентах, отражающих отношение содержания молибдена и цинка в золе растений ( $P$ , мг/кг) к содержанию в почве их подвижных форм ( $n$ , мг/кг). Значительное преобладание в золе растений молибдена и цинка над содержанием в почвах подвижных форм в наших исследо-

ваниях наблюдалось в обеих зонах. В зоне сухой степи отношение « $P/n$ » для молибдена составило: у яровой пшеницы – 224; подсолнечника (зерно) – 142; зеленой массы кукурузы – 96; гречихи (зерно) – 256. Отношение « $P/n$ » для цинка в этой зоне составило: у яровой пшеницы (зерно) – 560; зеленой массы кукурузы – 560, гречихи – 592.

Судя по этим данным, цинк и молибден для всех культур этой зоны является наиболее дефицитным для всех культур, как и для естественной растительности. Судя по величинам КПБ и отношению « $P/n$ », ко-

бальт и марганец для всех культурных растений и естественной растительности в обеих исследуемых зонах являются наименее дефицитными для растений.

Поведение микроэлементов в системе почва-растения в культурных экосистемах в обеих зонах сходно с поведением естественной растительности в природных экосистемах.

#### Выводы

1. Среднее содержание микроэлементов в естественной растительности в зоне каштановых почв сухой составляет (в мг/кг): Cu – 6; Mo – 0,7; Mn – 60; Zn – 25; Co – 0,3; B – 5,0. Оно немного меньше, чем в зоне черноземов умеренно засушливой колючей степи.

2. По содержанию в естественной растительности в обеих зонах микроэлементы можно расположить в ряд: Mn, Zn > Cu, B > Mo, Co.

3. По величинам КБП в естественной растительности микроэлементы выстраиваются в ряд: Zn, Mo > Cu, B > Mn, Co.

4. Коэффициенты биологического поглощения в естественной растительности составляют у цинка в сухой степи – 1,4; в колючей степи – 8,6; у молибдена в сухой степи – 12,4, в колючей степи – 12,8; у марганца в сухой степи – 1,0, в колючей степи – 1,1; у кобальта в сухой степи – 0,4, в колючей степи – 0,5.

5. Средние величины содержания микроэлементов в культурных растениях соизмеримы с величинами содержания их в естественной растительности соответствующих зон.

6. Коэффициенты биологического поглощения микроэлементов культурными растениями представляют ряд: Zn, Mo > Cu, B > Mn, Co. Наиболее высокий КБП всех культур у цинка – 13,7-16,9 в сухой степи и 8,0-12,8 в колючей степи. Наиболее низкие КБП наблюдаются у кобальта – 0,3-0,7 в сухой степи и 0,3-0,8 в колючей степи.

7. Цинк и молибден являются наиболее дефицитными для растений естественных ценнозов и агроценозов.

#### Библиографический список

1. Виноградов А.П. Основные закономерности распределения микроэлементов между растениями и средой // Микроэлементы в жизни растений и животных. – М., 1952. – С. 7-20.

2. Веригина К.В. Роль микроэлементов в жизни растений и их содержание в почвах и породах. Микроэлементы в некоторых почвах СССР. – М.: Наука, 1964. – С. 27-84.

3. Ильин В.Б. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 229 с.

4. Кабата-Пендиас В.И. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.

5. Протасова Н.А. Микроэлементы: биологическая роль, распределение в почвах, влияние на распространение заболеваний человека и животных // Соросов. обзор. журнал. – 1998. – № 12. – С. 32-37.

6. Титлянова А.А. Агроценозы степной зоны. – Новосибирск, 1984. – 184 с.

7. Спицына С.Ф., Томаровский А.А., Оствальд Г.В., Третьяков М.Е. Поведение микроэлементов в системе материнская порода-почва на примере черноземов выщелоченных лесостепи и колючей степи Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2015. – № 6 (128). – С. 44-47.

8. Спицына С.Ф., Томаровский А.А., Оствальд Г.В. Распределение микроэлементов в генетических горизонтах каштановых почв сухой степи и южных черноземов засушливой степи Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 4 (138). – С. 58-64.

9. Спицына С.Ф., Томаровский А.А., Оствальд Г.В. Утрата микроэлементов из почвы при дефляции в условиях зоны сухой степи Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 11 (145). – С. 43-48.

10. Спицына С.Ф., Томаровский А.А., Оствальд Г.В. Поведение микроэлементов в системе почва-растения пшеницы в различных зонах Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 12 (110). – С. 42-47.

11. Спицына С.Ф., Томаровский А.А., Оствальд Г.В. Поведение молибдена в системе почва-растения на территории Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 2 (112). – С. 53-57.

12. Спицына С.Ф., Томаровский А.А., Оствальд Г.В. Зависимость содержания цинка в растениях от его содержания в почвах Алтайского края // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2013. – № 9 (107). – С. 20-23.

13. Спицына С.Ф., Томаровский А.А., Оствальд Г.В. Поведение бора в системе почва-растение на территориях сухой засушливой и умеренно-засушливой степи // Вестник Алтайского государственного аг-



рарного университета. – 2015. – № 11 (133). – С. 30-36.

14. Спицына С.Ф., Томаровский А.А., Оствальд Г.В. Проявление синергизма и антагонизма между ионами меди, цинка и марганца при поступлении их в растения // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2014. – № 10 (120). – С. 29-32.

15. Шаронова Т.В. Влияние микроэлементов на некоторые физиологические показатели пшеницы при различной влажности почвы // Микроэлементы в сельском хозяйстве и медицине: тез. докл. VI Всесоюз. совещания. – Л., 1970. – Т. 1. – С. 59-68.

16. Старцева А.Б. Влияние фосфора на обмен веществ, засухоустойчивость и продуктивность яровой пшеницы // Изв. каз. фил. АН СССР. Сер. Биология. – 1963. – Вып. 9. – С. 59-68.

17. Спицына С.Ф., Томаровский А.А., Оствальд Г.В. Микроэлементный состав зерна яровой пшеницы в зависимости от погодных условий // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2016. – № 7 (141). – С. 37-43.

#### References

1. Vinogradov A.P. Osnovnye zakonomernosti raspredeleniya mikroelementov mezhdurasteniyami i sredoy // Mikroelementy v zhizni rasteniy i zhivotnykh. – M., 1952. – S. 7-20

2. Verigina K.V. Rol mikroelementov v zhizni rasteniy i ikh sodержanie v pochvakh i porodakh. Mikroelementy v nekotorykh pochvakh SSSR. – M.: Izd-vo «Nauka», 1964. – S. 27-84.

3. Ilin V.B. Mikroelementy i tyazhelye metally v pochvakh i rasteniyakh Novosibirskoy oblasti. – Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2001. – 229 s.

4. Kabata-Pendias V.I. Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh. – M.: Mir, 1989. – 439 s.

5. Protasova N.A. Mikroelementy: biologicheskaya rol, raspredelenie v pochvakh, vliyaniye na rasprostraneniye zabolevaniy cheloveka i zhivotnykh // Sorosov. obraz. zhurn. – 1998. – № 12. – S. 32-37

6. Titlyanova A.A. Agrotsenozy stepnoy zony. – Novosibirsk, 1984. – 184 s.

7. Spitsyna S.F., Tomarovskiy A.A., Ostvald G.V., Tretyakov M.E. Povedeniye mikroelementov v sisteme materinskaya poroda – pochva na primere chernozemov vyshchelochennykh lesostepi i kolochnoy stepi Altayskogo kraya // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – № 6 (128). – S. 44-47.

8. Spitsyna S.F., Tomarovskiy A.A., Ostvald G.V. Raspredeleniye mikroelementov v geneticheskikh gorizontakh kashtanovykh pochv sukhoy stepi i yuzhnykh chernozemov zasushlivoй stepi Altayskogo kraya // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – № 4 (138). – S. 58-64.

9. Spitsyna S.F., Tomarovskiy A.A., Ostvald G.V. Utrata mikroelementov iz pochvy pri deflyatsii v usloviyakh zony sukhoy stepi Altayskogo kraya // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – № 11 (145). – S. 43-48.

10. Spitsyna S.F., Tomarovskiy A.A., Ostvald G.V. Povedeniye mikroelementov v sisteme pochva – rasteniya pshenitsy v razlichnykh zonakh Altayskogo kraya // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – № 12 (110). – S. 42-47.

11. Spitsyna S.F., Tomarovskiy A.A., Ostvald G.V. Povedeniye molibdena v sisteme pochva – rasteniya na territorii Altayskogo kraya // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2014. – № 2 (112). – S. 53-57.

12. Spitsyna S.F., Tomarovskiy A.A., Ostvald G.V. Zavisimost sodержaniya tsinka v rasteniyakh ot ego sodержaniya v pochvakh Altayskogo kraya // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2013. – № 9 (107). – S. 20-23.

13. Spitsyna S.F., Tomarovskiy A.A., Ostvald G.V. Povedeniye bora v sisteme pochva – rasteniye na territoriyakh sukhoy zasushlivoй i umerenno-zasushlivoй stepi // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2015. – № 11 (133). – S. 30-36.

14. Spitsyna S.F., Tomarovskiy A.A., Ostvald G.V. Proyavleniye sinergizma i antagonizma mezhdurasteniyami medi, tsinka i margantsa pri postuplenii ikh v rasteniya // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2014. – № 10 (120). – S. 29-32.

15. Sharonova T.V. Vliyaniye mikroelementov na nekotorye fiziologicheskie pokazateli pshenitsy pri razlichnoy vlazhnosti pochvy // Mikroelementy v selskom khozyaystve i meditsine: tez. dokladov VI Vsesoyuznogo soveshchaniya. – L., 1970. – Т. 1. – S. 59-68.

16. Startseva A.B. Vliyaniye fosfora na obmen veshchestv, zasukhoustoychivost i produktivnost yarovoy pshenitsy // Izv. Kaz. fil. AN SSSR, ser. biol. – 1963. – Vyp. 9. – S. 59-68.

17. Spitsyna S.F., Tomarovskiy A.A., Ostvald G.V. Mikroelementnyy sostav zerna yarovoy pshenitsy v zavisimosti ot pogodnykh usloviy // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2016. – № 7 (141). – S. 37-43.