

АГРОЭКОЛОГИЯ

УДК 636:631.416.9(571.15)

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

ПОВЕДЕНИЕ БОРА В СИСТЕМЕ ПОЧВА-РАСТЕНИЕ НА ТЕРРИТОРИЯХ СУХОЙ, ЗАСУШЛИВОЙ И УМЕРЕННО-ЗАСУШЛИВОЙ СТЕПИ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

BORON BEHAVIOR IN THE SOIL-PLANT SYSTEM IN THE AREAS OF DRY, ARID AND TEMPERATELY ARID STEPPE OF THE ALTAI REGION

Ключевые слова: микроэлементы, бор, борные удобрения, соя, картофель, кукуруза, миграционная способность, коэффициенты биологического поглощения.

Недостаточная обеспеченность растений бором вызывает многочисленные болезни растений. При борном голодании у растений наблюдается дезорганизация внутренних структур, нарушение формирования репродуктивных органов, точек роста стеблей и корней. У колосовых злаков колосья ветвятся, уменьшается число цветков и увеличивается их стерильность. У льна отмирают верхушечные точки роста. У корнеплодов наблюдается «гниль сердечка». Листья кукурузы становятся белыми, а початки – мелкими. Особенно велика потребность в боре у бобовых растений, что связано с его участием в симбиотической азотфиксации. Обеспеченность различных культур подвижным бором зависит от его содержания в корнеобитаемом слое почвы и его выноса с урожаем. Соотношение этих показателей говорит о том, что недостаточность для растений бора может быть вероятной для культур повышенного его выноса – картофеля, корнеплодов, кукурузы, многолетних трав, включающих бобовый компонент и др. Местом проведения исследований являются почвенно-климатические зоны и подзоны Алтайского края. В зоне каштановых почв сухой степи объекты исследований – зональные подтипы каштановых почв (каштановые, темно-каштановые и светло-каштановые). В подзоне черноземов южных засушливой степи рассматривалась зональная почва – чернозем южный. В подзоне черноземов обыкновенных и выщелоченных умеренно-засушливой колючей степи – черноземы обыкновенные. Данные о содержании бора в этих почвах рассматривались сопряженно с соответствующими данными для солонцов и солончаков. Почвообразующие породы и почвы зон сухой, засушливой и умеренно-засушливой степи Алтайского края характеризуются высоким содержанием валового бора (60->80 мг/кг), что значительно больше, чем на территории Центрального Черноземья. Различий в содержании валового бора в горизонтах А, В и С внутри каждой из зон не наблюдается, что свидетельствует о незначительной вероятности его биогенного накопления в

гумусовом горизонте относительно почвообразующей породы.

Keywords: trace elements boron, boron fertilizers, soybean, potato, maize, migration ability, biological uptake coefficients.

Boron deficiency in plants causes many plant diseases. Boron-hungry plants reveal internal structural disorganization and disordered formation of the reproductive organs and stem and root growing points. Spiked cereal crops reveal spike branching, reduced number of florets and increased cases of floret sterility. Flax reveals die-back. Brown heart is observed in root crops. Boron deficiency in maize causes leaves to turn white and results in smaller cobs. Boron requirement is particularly important in legume crops due to their involvement in symbiotic nitrogen fixation. The availability of mobile boron to different crops depends on its content in the root zone and its removal with the harvested crop. The ratio of these indices suggests that boron deficiency may be likely for the crops with greater boron removal – potato, root crops, maize, perennial grasses with a legume component and others. The research was conducted in the soil-climatic zones and subzones of the Altai Region. The following soil types and subtypes were investigated: in the chestnut soil zone of the dry steppe the research targets were the zonal subtypes of chestnut soils (chestnut, dark-chestnut and light-chestnut subtypes). A zonal soil, a southern chernozem, was investigated in the subzone of southern chernozems of the arid steppe. Ordinary chernozems were investigated in the subzone of ordinary and leached chernozems of temperately dry forest-outlier steppe. The data on boron content was analyzed along with the corresponding data for the solonetz and solonchak soils. The parent rocks and soils of the zones of dry, arid and temperately arid steppe of the Altai Region reveal a high content of total boron (60->80 mg/kg) which is far more than in the Central Chernozem Region. There are no differences in the total boron content in horizons A, B and C within each zone; that is indicative of a low probability of its biogenic accumulation in the humus horizon in reference to the parent rock.

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

Томаровский Алексей Анатольевич, к.с.-х.н., доцент, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-84-12. 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.

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

Tomarovskiy Aleksey Anatolyevich, Cand. Agr. Sci., Assoc. Prof., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-84-31. 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

Для нормальной жизнедеятельности растениям нужны не только макроэлементы, но и такие микроэлементы, как бор. Необходимость бора для большинства растений была доказана многими исследователями [1-10]. Было выявлено, что с недостаточной обеспеченностью растений бором связаны многочисленные болезни растений. При борном голодании у растений наблюдаются дезорганизация внутренних структур, нарушение формирования репродуктивных органов, точек роста стеблей и корней. У колосовых злаков колосья ветвятся, уменьшается число цветков и увеличивается их стерильность. У льна отмирают верхушечные точки роста. У корнеплодов наблюдается «гниль сердечка». Листья кукурузы становятся белыми, а початки – мелкими. Особенно велика потребность в боре у бобовых растений, что связано с его участием в симбиотической азотофиксации.

Нормальное питание растений бором способствует хорошему росту и развитию растений. Положительное влияние борных удобрений на урожайность различных сельскохозяйственных культур наблюдалось в условиях Алтайского Приобья А.А. Томаровским в полевых опытах в период с 1996 по 1998 гг. [11]. Было установлено положительное влияние на урожайность сои борных удобрений, эффективность которых по отношению к контролю в среднем за 3 года составила 80,6% и была более высокой, чем эффективность цинковых и молибденовых удобрений. Также было установлено, что в среднем за 3 года прибавки урожайности от борных удобрений составили: у картофеля – 30%; у кукурузы – 41,7%. Положительное влияние бора на продуктивность и фотосинтез кукурузы в период с 1996 по 2000 гг. наблюдала Л.А. Николаенко. Установлено, что урожайность зеленой массы кукурузы в эти годы под влиянием борных удобрений увеличилась на 29,7-32,1% [12]. Положительное влияние борных удобрений на урожайность картофеля наблюдалось А.Я. Адамом в период с 1999 по 2004 гг. В его опытах прибавки урожайности варьировали от 17,8 до 49,4% [13].

Для научного обоснования в этих опытах были использованы данные, свидетельствующие о низком содержании в почвах подвижных форм бора. Более детальное изучение этого вопроса предусматривало выявление значимости для растений бора в различных почвенно-климатических зонах с учетом влияния на это химического состава почвообразующих пород, климата, рельефа и растительности, участвующей в почвообразовании. Также появилась необходимость изучения обеспеченности подвижным бором различных культур в разных почвенно-климатических зонах Алтайского края. Решение этих вопросов дает возможность выявить индивидуальные свойства элемента и вероятную дефицитность бора для каждой культуры, что будет способствовать корректировке питательного режима растений с учетом конкретных почвенно-климатических условий.

Цель и задачи данных исследований связаны с выявлением причин низкого содержания подвижного бора в зональных почвах различных почвенно-климатических зон и с определением его дефицитности для отдельных культур в зависимости от его содержания в корнеобитаемом слое почвы и от его выноса различными культурными растениями. Решение этих задач будет способствовать разработке системы микроудобрений, в том числе в севооборотах, содержащих культуры с повышенной потребностью в боре.

Объекты и методы исследований

Место проведения исследований – почвенно-климатические зоны и подзоны Алтайского края. В зоне каштановых почв сухой степи объектами исследований были зональные подтипы каштановых почв (каштановые, темно-каштановые и светло-каштановые). В подзоне черноземов южных засушливой степи рассматривалась зональная почва – чернозем южный. В подзоне черноземов обыкновенных и выщелоченных умеренно-засушливой колючей степи – черноземы обыкновенные. Данные о содержании бора в этих почвах рассматривались сопряженно с соответствующими данными для солонцов и солончаков.

Главный объект исследований – микроэлемент бор, характеризующийся особыми

физико-химическими свойствами и своеобразным поведением в ландшафтах, где благодаря высокой миграционной способности он подвергается перераспределению между почвами повышенных и пониженных участков территории.

Объектами исследований послужили данные о содержании бора в почвах и растениях зон Алтайского края, полученные в период с 1980 по 2010 гг. и данные полевых опытов с микроэлементами в период с 1999 по 2012 гг.

Методологической основой исследования был биогеохимический подход к проблеме поведения бора в системе материнская порода-почва-растения. Сущность его заключалась в рассмотрении сопряженных данных с использованием коэффициентов биологического поглощения (КПБ), коэффициентов водной миграции и данные об отношениях содержания элемента в корнеобитаемом слое почвы и о выносе его разными культурами. Результаты исследований были обработаны математически с использованием приемов вариационной статистики и информационно-логического анализа [14].

Результаты исследований

Поведение бора в системе почва-растения определяется в первую очередь его содержанием в почвообразующей породе, которая является материальной основой почвы и устанавливает вероятность биогенного накопления элемента в верхней части профиля за счет растительности, участвующей в почвообразовании.

Данные, представленные на рисунке 1, свидетельствуют, что валовое содержание бора в горизонтах А, В и С внутри каждой из зон почти одинаковое. Пределы колебаний валового содержания бора во всех горизонтах составляют: у черноземов обыкновенных – >60 мг/кг, черноземов южных и у темно-каштановых почв – $40- >60$ мг/кг, каштановых и светло-каштановых почв – $>40-60$ мг/кг.

Валовое содержание бора в горизонтах А, В и С солонцов и солончаков более высокое, чем в соответствующих зональных почвах (рис. 1).

Почвообразующие породы и почвы всех исследуемых зон за небольшим исключением по сравнению с аналогичными породами Центрального Черноземья [7] содержат больше валового бора. Относительно стандартной шкалы, содержащей 8 групп, валового бора в районе распространения каштановых и светло-каштановых почв содержится на уровне 5-7-х групп (15-50 мг/кг), в районе расположения темно-каштановых почв – на уровне 7-й группы (33-55 мг/кг), в зонах распространения черноземов южных и обыкновенных

валового бора – на уровне 8-й группы (>50 мг/кг).

Почвообразовательный процесс на исследуемой территории не сопровождается накоплением валового бора в горизонтах А и В по отношению к горизонту С (рис. 1). Это можно связать с относительно низкими величинами коэффициентов биологического поглощения (<2), особенно на фоне очень высокого содержания бора в почвообразующей породе (>60 мг/кг) и умеренного содержания его в растительности, участвующей в почвообразовании (4-6 мг/кг). Эти коэффициенты (КБП) на исследуемых территориях были значительно ниже, чем КБП для молибдена и цинка.

Отсутствие биогенного накопления бора в верхних горизонтах почв всех исследуемых зон объясняется не только низким КБП, но и тем, что бор на этой территории обладает очень высокими коэффициентами водной миграции, что значительно выше, чем коэффициенты водной миграции молибдена и цинка.

Подвижный бор в почвах находится в виде анионов: BO_2^- ; $\text{B}_4\text{O}_7^{2-}$; BO_3^{3-} ; H_2BO_3^- ; $\text{B}(\text{OH})_4^-$, для поглощения которых растения используют активные механизмы, связанные с избирательностью. Результаты анализа показали (рис. 2), что все исследуемые зональные (автоморфные) почвы характеризуются низким и очень низким содержанием подвижного бора (<1 мг/кг) во всех горизонтах. Это содержание, согласно Градации обеспеченности подвижными формами почв лесостепной и степной зон СССР, соответствует очень низкой и низкой обеспеченности (0,2-1,0 мг/кг). Низкое содержание подвижного бора в исследуемых автоморфных почвах связано, в первую очередь, с его высокой миграционной способностью. Автоморфные почвы формируются на плато, водоразделах или на древних высоких террасах. Для них характерен геохимический вынос. Геохимическая аккумуляция бора характерна для солонцов и солончаков, т.е. для почв, сформированных на отрицательных элементах рельефа, на низменностях и в депрессиях.

Содержание подвижного бора в солонцах и солончаках (>2 мг/кг) исследуемых зон значительно превышает его содержание в зональных почвах (рис. 2). Это связано с перераспределением подвижного бора между почвами пониженных и повышенных участков ландшафтов при наличии мезо- и микрорельефа.

Накопление подвижного бора в солонцах и солончаках, обусловленное перемещением его водорастворимых форм с водами с мезо- и микроповышений в мезо- и микропонижения, исключает их накопление в горизонтах А и В зональных автоморфных почв, что можно считать причиной проявления в них недостатка бора для растений.

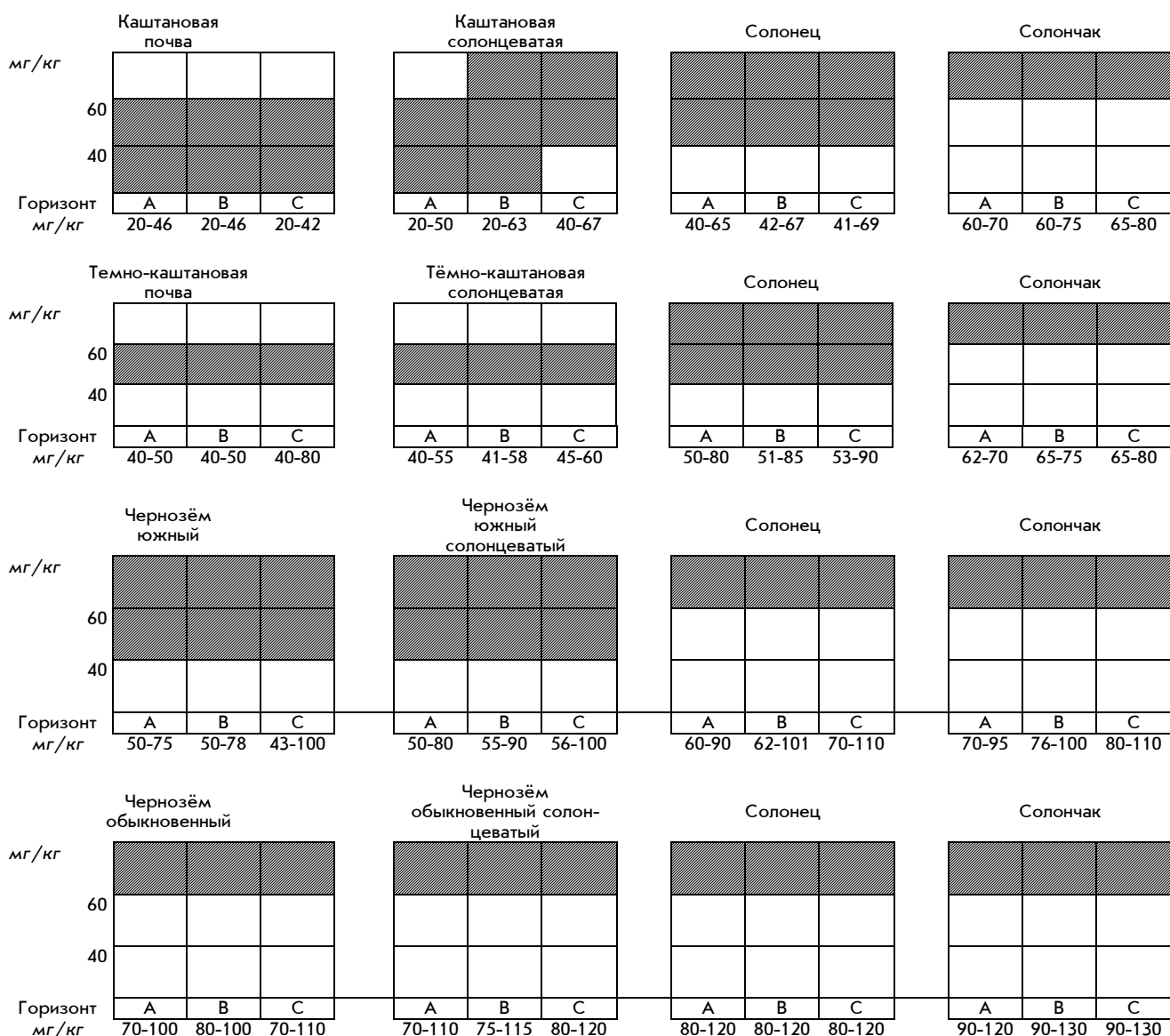


Рис. 1. Содержание валового бора в некоторых исследуемых зональных и интразональных почвах, мг/кг

Однотипность поведения бора в ландшафтах исследуемых зон при смене элементов мезо- и микрорельефа является подтверждением закона аналогичных топографических рядов, что может служить основой для разработки универсальной системы микроудобрений и системы севооборотов с участием культур, характеризующихся повышенной потребностью в боре.

Низкое содержание подвижного бора в исследуемых пахотных почвах, выявленное с использованием стандартных шкал, не является главным аргументом для определения его как элемента, лимитирующего высокие урожаи культурных растений и дефицитного для всех культур в данном регионе. Здесь важными являются данные о запасах его подвижных форм в корнеобитаемом слое почвы, которые зависят от погодных условий, увеличиваясь при увлажнении почвы. В соот-

ветствии с изменением содержания в почве подвижного бора в зависимости от варьирования влажности почвы его содержание в корнеобитаемом слое исследуемых почв колеблется в пределах от 0,6 до 2,0 кг/га. В соответствии со средним содержанием бора в культурных растениях и вероятными уровнями урожайности на этой территории вынос бора варьирует: у пшеницы – 2-4 г/га; кукурузы – 20-50; трав – 10-20 г/га.

Сопоставляя вероятные запасы подвижного бора в корнеобитаемом слое исследуемых зональных почв и вероятные выносы его культурами, можно определить отношение запасов к выносу. Для пшеницы это соотношение варьирует от 125 до 1300, что свидетельствует о значительном преобладании запасов подвижного бора над выносом с учетом вероятных уровней урожайности яровой пшеницы (0,6-1,5 т/га).

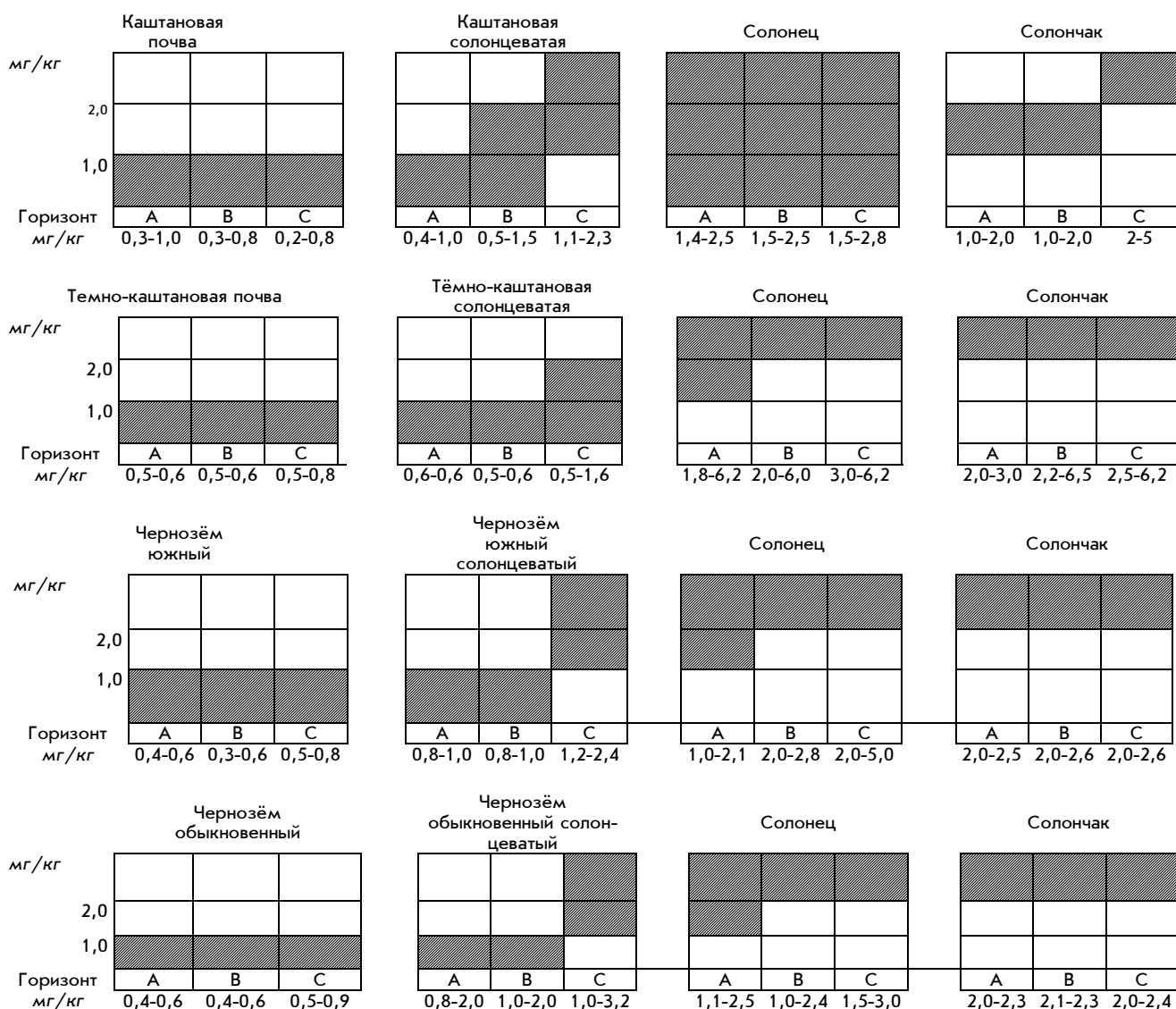


Рис. 2. Содержание подвижных форм бора в некоторых исследуемых зональных и интразональных почвах, мг/кг

Преобладание запасов в почве подвижного бора над выносом вероятными уровнями урожайности зеленой массы кукурузы (4-20 т/га) значительно меньше (12-33). Аналогичная ситуация наблюдается у картофеля. Преобладание запасов подвижного бора в почвах над выносом его многолетними травами (при урожайности их 1,5-2,5 т/га) варьирует от 83 до 166. Вынос бора у многолетних трав увеличивается при повышении содержания в нем доли бобового компонента.

Выводы

1. Почвообразующие породы и почвы зон сухой, засушливой и умеренно-засушливой степи Алтайского края характеризуются высоким содержанием валового бора (60->80 мг/кг), что значительно больше, чем на территории Центрального Черноземья.
2. Различий в содержании валового бора в горизонтах А, В и С внутри каждой из зон не

наблюдается, что свидетельствует о незначительной вероятности его биогенного накопления в гумусовом горизонте относительно почвообразующей породы.

3. Валовое содержание бора в горизонтах А, В и С солонцов и солончаков аналогично содержанию в профилях соответствующих автоморфных почв.

4. Содержание подвижного бора во всех зонах и горизонтах зональных автоморфных почв всех исследуемых зон одинаково низкое (<1 мг/кг). Накопления подвижного бора в горизонтах А и В по отношению к горизонту С нигде не наблюдается.

5. Солонцы и солончаки характеризуются высоким и очень высоким содержанием подвижного бора (до >2 мг/кг), что может быть опасным для растений и животных.

6. Обеспеченность различных культур подвижным бором зависит от его содержания в корнеобитаемом слое почвы и его выноса с урожаем. Соотношение этих показателей

говорит о том, что недостаточность для растений бора может быть вероятной для культур повышенного его выноса – картофеля, корнеплодов, кукурузы, многолетних трав, включающих бобовый компонент и др.

Библиографический список

1. Кабата-Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 440 с.
2. Bowen H.J. The use of reference materials in the elemental analysis of biological samples // Atomic Energy Rev. – 1975. – Vol. 13 (3). – P. 451-458.
3. Добровольский В.В. Основы биогеохимии. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 397 с.
4. Ильин В.Б. Биогеохимия и агрохимия микроэлементов в Южной части Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1973. – 389 с.
5. Мальгин М.А. Биогеохимия микроэлементов в Горном Алтае. – Новосибирск: Наука, 1978. – 271 с.
6. Круглова Е.К. Микроэлементы в почвах. – Ташкент, 1966. – 231 с.
7. Протасова Н.А., Щербakov А.П., Копеева М.Т. Редкие и рассеянные элементы в почвах Центрального Черноземья. – Воронеж: Изд-во Воронежского ун-та, 1992. – 165 с.
8. Чернавина И.А. Физиология и биохимия микроэлементов. – М.: Высшая школа, 1970. – 310 с.
9. Школьник М.Я. Микроэлементы в жизни растений. – Л., 1974. – 323 с.
10. Церлинг В.В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур. – М.: Агропромиздат, 1990. – 235 с.
11. Томаровский А.А. Микроэлементы в почвах и система микроудобрений для различных культур в условиях умеренно-засушливой колочной степи Алтайского края: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Барнаул, 1999. – 17 с.
12. Николаенко Л.А. Влияние микроэлементов на фотосимметрический потенциал (ФСП), чистую продуктивность и урожайность кукурузы: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Барнаул, 2001. – 18 с.
13. Адам А.Я. Влияние макро- и микроудобрений на урожайность картофеля в условиях колочной степи Алтайского края: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Барнаул, 2005. – 18 с.
14. Пузаченко Ю.Г., Мошкин А.В. Информационно-логический анализ в медико-

географических исследованиях // Итоги науки. Сер. мед. география / ВИНТИ. – М., 1969. – Вып. 3. – С. 5-71.

References

1. Kabata-Pendias A., Pendias Kh. Mikroelementy v pochvakh i rasteniyakh. – M.: Mir, 1989. – 440 s.
2. Bowen H.J. The use of reference materials in the elemental analysis of biological samples // Atomic Energy Rev. – 1975. – Vol. 13 (3). – P. 451-458.
3. Dobrovolskii V.V. Osnovy biogeokhimi. – M.: Izdatel'skii tsentr «Akademiya», 2003. – 397 s.
4. Il'in V.B. Biogeokhimiya i agrokhimiya mikroelementov v Yuzhnoi chasti Zapadnoi Sibiri. – Novosibirsk: Nauka, 1973. – 389 s.
5. Mal'gin M.A. Biogeokhimiya mikroelementov v Gornom Altae. – Novosibirsk: Nauka, 1978. – 271 s.
6. Kругlova E.K. Mikroelementy v pochvakh. – Tashkent, 1966. – 231 s.
7. Profasova N.A., Shcherbakov A.P., Kopeeva M.T. Redkie i rasseyannye elementy v pochvakh Tsentral'nogo Chernozem'ya. – Voronezh: Izd-vo Voronezhskogo universiteta, 1992. – 165 s.
8. Chernavina I.A. Fiziologiya i biokhimiya mikroelementov. – M.: Vysshaya shkola, 1970. – 310 s.
9. Shkol'nik M.Ya. Mikroelementy v zhizni rastenii. – L., 1974. – 323 s.
10. Tserling V.V. Diagnostika pitaniya sel'skokhozyaistvennykh kul'tur. – M.: Agropromizdat, 1990. – 235 s.
11. Tomarovskii A.A. Mikroelementy v pochvakh i sistema mikroudobrenii dlya razlichnykh kul'tur v usloviyakh umerenno-zasushlivoi kolochnoi stepi Altaiskogo kraja: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk. – Barnaul, 1999. – 17 s.
12. Nikolaenko L.A. Vliyanie mikroelementov na fotosimmetricheskii potentsial (FSP), chistuyu produktivnost' i urozhainost' kukuruzy: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk. – Barnaul, 2001. – 18 s.
13. Adam A.Ya. Vliyanie makro- i mikroudobrenii na urozhainost' kartofelya v usloviyakh kolochnoi stepi Altaiskogo kraja: avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk. – Barnaul, 2005. – 18 s.
14. Puzachenko Yu.G., Moshkin A.V. Informatsionno-logicheskii analiz v mediko-

