

3. Будрицкая И.А., Татаринцев В.Л., Татаринцев Л.М. Агроэкологическая модель эффективного плодородия каштановых почв сухостепной Кулунды // Фундаментальные и прикладные науки сегодня: сб. матер. VI Междунар. науч.-практ. конф. (24-25 августа 2015 г., North Charleston, USA). – CreatSpace, North Charleston, SC, USA 29406. – 2015. – P. 85-88.

4. Татаринцев Л.М., Татаринцев В.Л., Моница Ж.В. Моделирование эффективного плодородия каштановых почв // Аграрная наука – сельскому хозяйству: сб. ст. XII Междунар. науч.-практ. конф.; в 3 кн. – Барнаул: Изд-во Алтайского ГАУ, 2017. – Кн. 2. – С. 553-555.

5. Бурлакова Л.М. Плодородие алтайских чернозёмов в системе агроценоза. – Новосибирск: Наука, 1984. – 168 с.

6. Татаринцев Л.М. Физическое состояние основных пахотных почв юго-востока Западной Сибири: дис. ... докт. биол. наук. – Новосибирск, 1993. – 368 с.

7. Пузаченко Ю.Г., Мошкин А.В. Информационно-логический анализ в медико-биологических исследованиях // Итоги науки. Медицинская география. – М., 1969. – Вып. 3. – С. 5-73.

References

1. Tatarintsev L.M., Tatarintsev V.L., Pakhomya O.G. Faktory plodorodiya kashtanovykh pochv sukhoy stepi yuga Zapadnoy Sibiri i urozhaynost yarovoy pshenitsy: monografiya. – Barnaul: Izd-vo AGAU, 2005. – 105 s.

2. Tatarintsev L.M., Tatarintsev V.L., Pakhomya O.G. Vliyaniye razlichnykh faktorov na effektivnoye plodorodie kashtanovykh pochv sukhoy stepi Kulundy // Agrarnaya nauka – selskomu khozyaystvu: sb. statey Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.: v 3-kh kn. – Barnaul: Izd-vo AGAU, 2006. – Kn. 1. – S. 221-225.

3. Budritskaya I.A., Tatarintsev V.L., Tatarintsev L.M. Agroekologicheskaya model effektivnogo plodorodiya kashtanovykh pochv sukhostepnoy Kulundy // Fundamentalnye i prikladnye nauki segodnya: sbornik materialov VI Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii (24-25 avgusta 2015 g., North Charleston, USA). – CreatSpace, North Charleston, SC, USA 29406. – 2015. – P. 85-88.

4. Tatarintsev L.M., Tatarintsev V.L., Monina Zh.V. Modelirovaniye effektivnogo plodorodiya kashtanovykh pochv // Agrarnaya nauka – selskomu khozyaystvu: sb. statey XII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.: v 3-kh kn. – Barnaul: Izd-vo Altayskogo GAU, 2017. – Kn. 2. – S. 553-555.

5. Burlakova L.M. Plodorodie altayskikh chernozemov v sisteme agrotsenoza. – Novosibirsk: Nauka, 1984. – 168 s.

6. Tatarintsev L.M. Fizicheskoye sostoyaniye osnovnykh pakhotnykh pochv yugo-vostoka Zapadnoy Sibiri: diss... doktora biol. nauk. – Novosibirsk, 1993. – 368 s.

7. Puzachenko Yu.G., Moshkin A.V. Informatsionno-logicheskyy analiz v mediko-biologicheskikh issledovaniyakh // Itogi nauki. Meditsinskaya geografiya. – Vyp. 3. – M., 1969. – S. 5-73.



УДК 631.436+631.587

М.А. Мазиров, С.В. Макарычев
M.A. Mazirov, S.V. Makarychev

ОСОБЕННОСТИ СЕЗОННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ТЕПЛОВЫХ СВОЙСТВ ГОРНЫХ КОРИЧНЕВЫХ ПОЧВ В СВЯЗИ С ВОЗМОЖНЫМ ПРИМЕНЕНИЕМ ОРОСИТЕЛЬНЫХ МЕЛИОРАЦИЙ

FEATURES OF SEASONAL CHANGES OF THERMAL PROPERTIES OF MOUNTAIN BROWN SOILS DUE TO POSSIBLE IRRIGATION RECLAMATION

Ключевые слова: теплофизические характеристики, теплоемкость, температуропроводность, теплопроводность, влажность, плотность.

Горные коричневые почвы распространены в вертикальном почвенном поясе западного Тянь-Шаня на высотах от 800 до 1500 м. Они расположены на склонах разной экспозиции, крутизны и формы. Объектами исследований явились карбо-

натные, выщелоченные и типичные горные коричневые почвы. В результате исследований оказалось, что генетические горизонты почвенных подтипов по значениям теплофизических характеристик оказались довольно близки, но в то же время имели ряд особенностей. Во всех почвенных профилях объемная теплоемкость и теплопроводность увеличивались с глубиной и тем быстрее, чем выше была плотность сложения горизонтов.

Наиболее существенно в течение вегетации изменялись тепловые свойства верхних высокопористых слоев. Особенно выделялся уплотненный иллювиальный горизонт. В целом, наименее благоприятным по теплофизическому состоянию оказался профиль выщелоченной горной коричневой почвы, а оптимальным — профиль типичной. Карбонатная почва занимала промежуточное положение из-за высокой теплоемкости, которое определялось не только плотностью сложения, но и наличием значительного количества карбонатов.

Keywords: *thermophysical characteristics, thermal capacity, thermal diffusivity, thermal conductivity, moisture content, density.*

Mountain brown soils are widespread in the vertical soil belt of the western Tien Shan at the altitudes from 800 to 1500 m. They are located on the slopes of different exposures, steepness and shape.

The research targets were carbonate, leached and typical mountain brown soils. It was found that the genetic horizons of soil subtypes were quite close regarding the values of thermophysical characteristics, but at the same time they had a number of peculiarities. Volumetric thermal capacity and thermal conductivity in all soil profiles increased with depth; the increase was faster with increasing bulk density of the horizons. The thermal properties of the upper highly porous layers changed most significantly during the growing season. Compacted illuvial horizon was particular in this regard. In general, the profile of leached mountain brown soil was the least favorable in terms of thermophysical status; the profile of typical mountain brown soil was the optimal one. Carbonate soil occupied an intermediate position due to high thermal capacity which was determined not only by bulk density, but also by the presence of significant carbonate amount.

Мазиров Михаил Арнольдович, д.б.н., проф., зав. каф. земледелия и опытного дела, Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева. E-mail: mazirov@mail.ru.

Макарычев Сергей Владимирович, д.б.н., проф., зав. каф. физики, Алтайский государственный аграрный университет. Тел.: (3852) 62-83-53. E-mail: phys_asau@rambler.ru.

Mazirov Mikhail Arnoldovich, Dr. Bio. Sci., Prof., Head, Chair of Agriculture and Experimentation, Russian State Agricultural University – Timiryazev Moscow Agricultural Academy. E-mail: mazirov@mail.ru.

Makarychev Sergey Vladimirovich, Dr. Bio. Sci., Prof., Head, Physics Dept., Altai State Agricultural University. Ph.: (3852) 62-83-53. E-mail: phys_asau@rambler.ru.

Введение

Горные коричневые почвы распространены в вертикальном почвенном поясе западного Тянь-Шаня на высотах от 800 до 1500 м. Они расположены на склонах разной экспозиции, крутизны и формы. Почвообразующие породы представлены делювием коренных пород, который местами перекрыт лессами и лессовидными суглинками. Название «коричневые» почвы утвердилось после публикации работ И.П. Герасимова [1] и А.Н. Розанова [2], которые считали их тождественными коричневым почвам Крыма и Балкан.

Тепловой режим почвы формируется под воздействием, прежде всего, атмосферного климата [3]. Вместе с тем на формирование режима тепла в почвенном профиле влияют теплофизические характеристики (ТФХ) его генетических горизонтов [4]. В совокупности с водно-физическими свойствами теплоемкость, тепло- и температуропроводность в значительной степени определяют интенсивность процессов теплопередачи и теплоаккумуляции, тем самым пищевого режима в почве. Предполагаемое орошение сельскохозяйственных культур позволит регулировать в целях экологизации земледелия [5] формирование температурного фона в верхних слоях

почвенного профиля в целях предотвращения их перегрева.

Объекты и методы

Объектами исследований явились карбонатные, выщелоченные и типичные горные коричневые почвы западного Тянь-Шаня. **Цель** – изучение динамики теплофизических характеристик в течение вегетационного периода в связи с возможностью их регулирования при использовании гидромелиораций. Коэффициенты объемной теплоемкости, тепло- и температуропроводности определялись экспериментально **методом** [6-8] регулярного теплового режима с помощью полевого цилиндрического зонда.

Результаты исследований

С целью выявления особенностей сезонной динамики теплофизических коэффициентов нами проведены сопряженные исследования генетических горизонтов карбонатных, выщелоченных и типичных горных коричневых почв. Результаты наблюдений свидетельствуют о том, что изменения теплофизических показателей почв в течение вегетации в основном подчинены сезонной динамике их увлажнения. Следует отметить также влияние строения и структуры почвенных профилей, а также экспозиции склонов [4, 7].

Так, в начале вегетации наибольшая степень увлажнения была отмечена в гумусовом горизонте выщелоченной коричневой почвы на склоне северной экспозиции, где влагосодержание в апреле 2001 г. достигало 22% от веса почвы. При этом в карбонатной почве южного склона количество влаги не превышало 18%, а в типичной почве на водоразделе составляло только 12%.

В результате наименьшей теплоемкостью характеризовался гумусово-аккумулятивный горизонт типичной горной почвы – $1,40 \cdot 10^6$ Дж/м³ К, в то время как в выщелоченной он оказался равным $1,93 \cdot 10^6$ Дж/м³ К (рис.). Аналогичной закономерностью характеризуется коэффициент теплопроводности. Температуропроводность же карбонатной и выщелоченной почв в момент измерений была максимальной и равной $0,68 \cdot 10^{-6}$ м²/с, в то время как типичной – только $0,58 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

Наиболее плотные иллювиальные горизонты подтипов коричневой горной почвы имели максимальную теплоемкость и минимальную температуропроводность. Весной значительно увлажненной (25-30% от веса почвы) оказалась почвообразующая порода на глубинах от 130 до 190 см, в которой объемная теплоемкость и теплопроводность достигли наибольших значений. Высокие теплоемкость и температуропроводность верхнего пахотного горизонта обусловили его довольно быстрое прогревание, что способствовало последующему накоплению тепла в нижележащих слоях почвенного профиля. Следует отметить также, что наиболее уплотненные горизонты характеризуются высокими значениями объемной теплоемкости (до $3,0 \cdot 10^6$ Дж/м³ К) и малыми значениями температуропроводности (до $0,4 \cdot 10^{-6}$ м²/с).

Относительные изменения теплоемкости горной коричневой карбонатной, выщелоченной и типичной почв в гумусовом слое по отношению к почвообразующей породе составляют, соответственно, 66,3; 48,2 и 102,9%. Для температуропроводности и теплопроводности эти различия оказываются равными 27,0; 32,4; 13,9 и 20,7; 7,0; 75,3%.

Эти данные показывают, что наибольшим изменениям с глубиной подвержены теплофизические коэффициенты в профиле коричневой типичной почвы. В меньшей мере это сказывается в карбонатной и выщелоченной почвах. В максимальных пределах меняется теплоемкость, особенно в типичной почве на водоразделе по причине

неудовлетворительного режима влажности в мае.

С течением времени по мере снижения влажности почвы под влиянием десукции и физического испарения, а также последующего повышения почвенного увлажнения при выпадении осадков ТФК почв варьировали в определенных пределах. При этом почвенные подтипы имели свои особенности.

Так, коричневая карбонатная почва характеризовалась снижением всех теплофизических показателей вплоть до июля, когда влажность в верхнем (10 см) слое составляла только 4,5%. Уменьшалось влагосодержание и в более глубоких горизонтах, что вызвало снижение теплоемкости и теплопроводности.

В гумусовом горизонте в мае было отмечено возрастание температуропроводности. В плотном иллювиальном горизонте (40-60 см) этот рост продолжался до июня, т. е. наблюдался эффект «запаздывания».

Выпадение осадков в августе сказалось на увеличении влажности только в верхнем (30 см) слое карбонатной почвы. В нижележащих горизонтах влагосодержание продолжало снижаться, поэтому теплоемкость и теплопроводность начали возрастать только с сентября, достигнув максимума в ноябре. Температуропроводность верхнего горизонта этих почв увеличивалась с июля по октябрь. Аналогичный эффект наблюдался в подстилающих горизонтах карбонатной почвы. Относительные изменения объемной теплоемкости за вегетацию достигли в гумусовом слое 97%, а в иллювиальном и нижележащих горизонтах – только 47%. Температуропроводность изменялась в пределах 38 и 10%, а теплопроводность – 133 и 50%. Таким образом, в карбонатной почве наиболее изменчивым по теплофизическим свойствам оказался гумусовый горизонт.

Характер изменения тепловых коэффициентов выщелоченной и типичной почв был близок к карбонатной. В то же время в них имеются определенные отличия. Так, в профиле выщелоченной почвы теплоемкость и теплопроводность верхнего (10 см) слоя, а также иллювиального уменьшалась до июля. При этом в наиболее плотном горизонте в июле отмечен более резкий спад этих показателей. В динамике сезонного изменения температуропроводности в этой почве отсутствовал эффект «запаздывания», в то время как в типичной он был выражен наиболее ярко. Температуропроводность типичной почвы в верхних гори-

зонтах А и В росла до июня, а затем оставалась неизменной до октября. В подстиляющей породе она возрастала в течение всей вегетации, достигнув $0,63 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$. В этом подтипе минимальные значения теплоемкости и теплопроводности в гумусовом слое наблюдались в августе, в нижележащих горизонтах — в сентябре. Это указывает на то, что процесс снижения почвенного увлажнения на водоразделе оказался более длительным.

Характер изменений теплофизических коэффициентов вниз по профилю имел

много общего как в мае, так и в июле. В начале вегетации теплоемкость в почвообразующей породе типичной почвы выше, чем в верхнем слое, на 103%, а в июле — на 114%. В карбонатной почве эти изменения составили 66 и 105%, а в выщелоченной — соответственно 48 и 92%. Температуропроводность почвенных подтипов с глубиной уменьшается. В мае эта разница в карбонатной почве равна 37%, в выщелоченной — 48, а в типичной — только 16%.

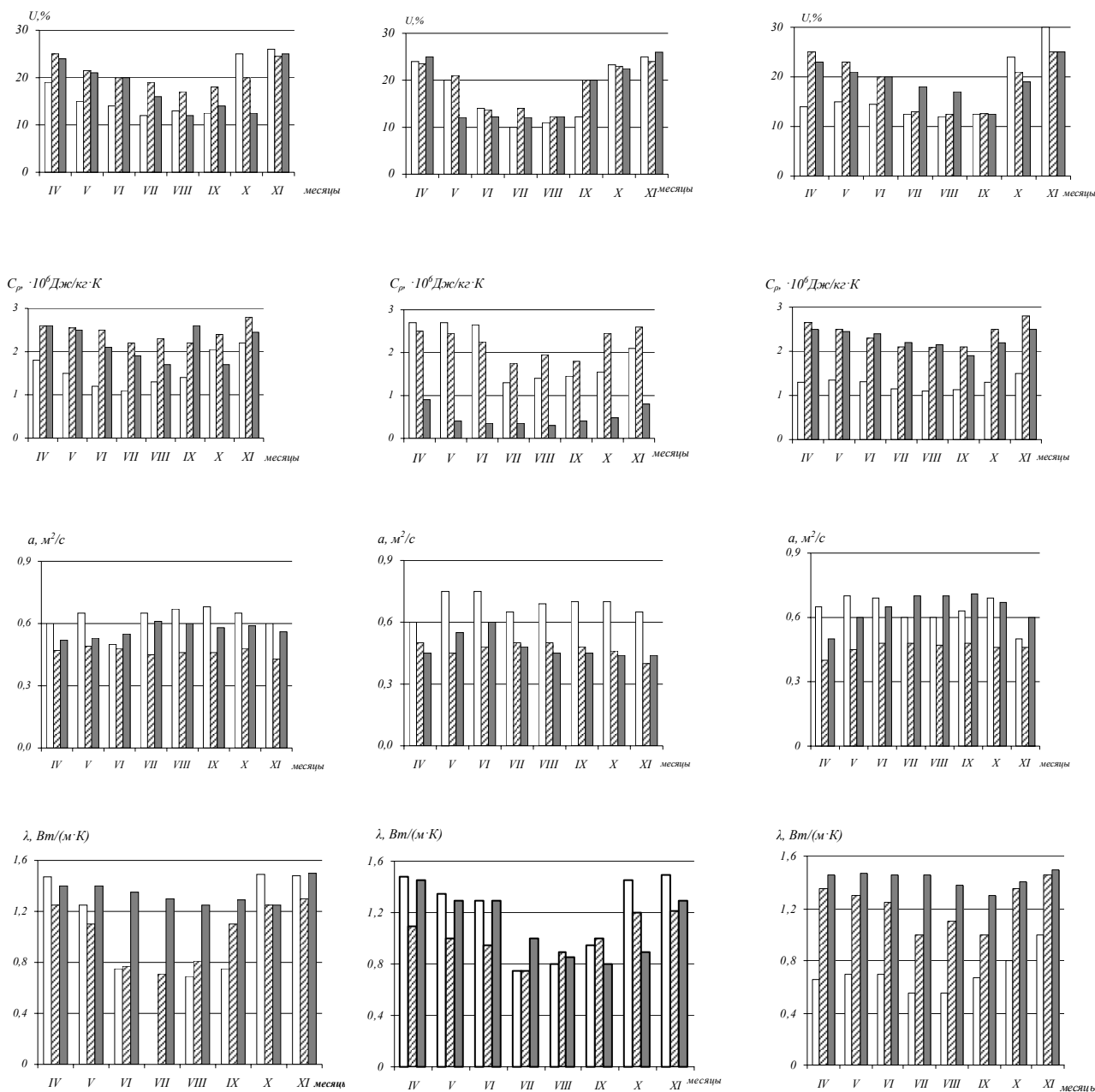


Рис. Влажность (U%), объемная теплоемкость (C_p, 10⁶ Дж/м³К), температуропроводность (a, 10⁶ м²/с) и теплопроводность (λ, Вт/м К) карбонатных (А), выщелоченных (В) и типичных (С) горных коричневых почв:
 □ — пахотный горизонт; ▨ — иллювиальный горизонт; ■ — почвообразующая порода

Во всех почвенных профилях по теплофизическим показателям выделялся наиболее плотный иллювиальный горизонт. В нем теплоемкость принимала максимальные значения, а температуропроводность — минимальные.

Следует отметить, что теплоемкость и теплопроводность исследованных подтипов коричневых почв к середине лета оказывается значительно ниже, чем в мае. При этом температуропроводность меняется незначительно. В этом проявляется характер зависимости теплофизических коэффициентов от влажности, линейный — для объемной теплоемкости и параболический — для температуропроводности, когда она имеет экстремум при 15-17% от массы почвы.

Исследованные подтипы горных коричневых почв по теплофизическим параметрам довольно близки, но в то же время имеют ряд особенностей. Во всех генетических горизонтах теплоемкость увеличивается и тем быстрее, чем выше плотность. Наиболее существенно в течение вегетации изменяются тепловые свойства верхних высокопористых горизонтов. В этих почвах выделяется также уплотненный иллювиальный горизонт. Кроме того, относительные изменения теплофизических показателей могут быть различными, так же как и сроки проявления их экстремальных значений.

Наименее благоприятным по теплофизическому состоянию был профиль выщелоченной горной коричневой почвы, а оптимальным — профиль типичной. Карбонатная почва занимала промежуточное положение из-за высокой теплоемкости, которое определяется не только плотностью сложения, но и наличием значительного количества теплоемких карбонатов.

Заключение

Исследованные генетические горизонты карбонатных, выщелоченных и типичных горных коричневых почв по теплофизическим свойствам оказались довольно близки, но в то же время имели ряд особенностей. Во всех почвенных профилях объемная теплоемкость увеличивалась с глубиной и тем быстрее, чем выше была плотность сложения горизонтов. Наиболее существенно в течение вегетации изменялись тепловые свойства верхних высокопористых слоев. Особенно выделялся уплотненный иллювиальный горизонт.

В целом, наименее благоприятным по теплофизическому состоянию оказался профиль выщелоченной горной коричневой

почвы, а оптимальным — профиль типичной. Карбонатная почва занимала промежуточное положение из-за высокой теплоемкости, которое определялось не только плотностью сложения, но и наличием значительного количества карбонатов.

Библиографический список

1. Герасимов И.П. Опыт генетической диагностики почв СССР на основе элементарных почвенных процессов // Почвоведение. — 1975. — № 5. — С. 3-11.
2. Розанов В.Г. Генетическая морфология почв. — М.: Наука, 1975. — 342 с.
3. Шульгин А.М. Климат почвы и его регулирование. — Л.: Гидрометеиздат, 1967. — 298 с.
4. Мазиров М.А., Макарычев С.В. Теплофизическая характеристика почвенного покрова Алтая и западного Тянь-Шаня. — Владимир: Изд-во ВлГУ, 2002. — 448 с.
5. Макарычев С.В., Мазиров М.А. Физические основы экологии: учебное пособие. — Владимир: Изд-во Владимирского НИИСХ, 2000. — 244 с.
6. Чудновский А.Ф. Теплофизика почв. — М.: Наука, 1976. — 352 с.
7. Мазиров М.А., Макарычев С.В. Теплофизика почв: антропогенный фактор. — Суздаль: Изд-во Владимирского НИИСХ, 1997. — Т. 2. — 186 с.
8. Болотов А.Г. Измерение температуры почв в полевых условиях // Антропогенное воздействие на лесные экосистемы: тез. докл. II Междунар. конф. (18-19 апреля 2002 г., г. Барнаул). — Барнаул: Изд-во АГУ, 2002. — С. 148-150.

References

1. Gerasimov I.P. Opyt geneticheskoy diagnostiki pochv SSSR na osnove elementarnykh pochvennykh protsessov // Pochvovedenie. — 1975. — № 5. — S. 3-11.
2. Rozanov V.G. Geneticheskaya morfologiya pochv. — M.: Nauka, 1975. — 342 s.
3. Shulgin A.M. Klimat pochvy i ego regulirovanie. — L.: Gidrometeoizdat, 1967. — 298 s.
4. Mazirov M.A., Makarychev S.V. Teplofizicheskaya kharakteristika pochvennogo pokrova Altaya i zapadnogo Tyan-Shanya. — Vladimir: Izd-vo VIGU, 2002. — 448 s.
5. Makarychev S.V., Mazirov M.A. Fizicheskie osnovy ekologii: uchebnoe posobie. — Vladimir: Izd-vo Vladimirskego NIISKh, 2000. — 244 s.
6. Chudnovskiy A.F. Teplofizika pochv. — M.: Nauka, 1976. — 352 s.

7. Mazirov M.A., Makarychev S.V. *Терлофизика почв: антропогенный фактор. Том 2.* – Suzdal: Izd-vo Vladimirskogo NIISKh, 1997. – Т. 2. – 186 с.

8. Bolotov A.G. *Izmerenie temperatury pochv v polevykh usloviyakh // Antropogennoe vozdeystvie na lesnye ekosistemy: tez. dokl. II Mezhdunar. konf. (18-19 aprelya 2002 g., Barnaul).* – Barnaul: Izd-vo AGU, 2002. – S. 148-150.



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

ЗАПАСЫ МИКРОЭЛЕМЕНТОВ В ВЕРХНИХ ГОРИЗОНТАХ ПОЧВ КУЛУНДИНСКОЙ ЗОНЫ

TRACE ELEMENT STOCKS IN THE UPPER HORIZONS OF THE KULUNDA ZONE SOILS

Ключевые слова: микроэлементы, медь, молибден, марганец, цинк, кобальт, бор, почвы Кулундинской зоны, подвижные формы микроэлементов, валовое содержание микроэлементов, прирост запасов микроэлементов.

Количество накопленных подвижных форм микроэлементов в почве не всегда благоприятно для питания растений. Склонность к накоплению зависит от таких свойств элемента, как валентность, заряд и радиус иона, нахождение в воде в виде катиона или аниона. Объектами исследований выбраны почвы различных почвенных районов Кулундинской зоны – зоны каштановых почв сухой степи, где каштановые почвы соседствуют либо с темно-каштановыми (Кулундинский район), либо со светло-каштановыми (Славгородский район). Исследовались слои почвы 0-40 см, включающие горизонты А+В и 60-100 см, карбонатный горизонт и почвообразующую породу на содержание в них общих количеств и подвижных форм микроэлементов. Для выявления большей или меньшей дефицитности для растений микроэлементов использовался метод определения соотношений их концентраций в почвах и растениях. В результате исследований установлено, что пахотные зоны Кулундинской зоны Алтайского края характеризуются достаточно высоким приростом запасов валовых количеств микроэлементов в горизонте 0-40 см относительно почвообразующих пород (9,1-38,9%). Приросты запасов подвижных форм наблюдаются только относительно меди, молибдена, марганца и кобальта (42,9-28,9%). Прироста запасов цинка и бора не наблюдается. Особенно высок прирост запасов у марганца. Запасы подвижных форм цинка одновременно с приростом тратились на вынос культурными растениями и на водную миграцию, запасы подвижного бора – на водную миграцию. Оценивая полезность этих запасов для растений по соотношению элементов, можно отметить избыточность в них марганца и кобальта и недостаточность подвижных форм молибдена, цинка и бора. Эти проявления

необходимо учитывать при разработке системы удобрений, включающей микроэлементы.

Keywords: trace elements, copper, molybdenum, manganese, zinc, cobalt, boron, Kulunda zone soils, trace element mobile forms, total trace element content, addition to trace element stocks.

The amount of trace element mobile forms accumulated in soil is not always beneficial for plant nutrition. Accumulation tendency depends on such element properties as valence, ion charge and ionic radius, and being in water as cation or anion. The research targets were the soils of various soil areas of the Kulunda zone – the zone of chestnut soils of dry steppe where chestnut soils are found side by side with either dark-chestnut soils (Kulunda district) or light chestnut soils (Slavgorod district). The soil layers of 0-40 cm including A+B horizons, and 60-100 cm including carbonate horizon and parent rock were studied to determine the total trace element content and the trace element mobile forms. To reveal greater or lesser trace element deficiency for plants, their concentration ratios in soils and plants were determined. It has been found that the arable zones of the Kulunda zone of the Altai Region are characterized by rather high addition to total trace element stocks in the horizon of 0-40 cm as compared to parent rocks (9.1-38.9%). The addition to mobile form stocks is observed only relating copper, molybdenum, manganese and cobalt (42.9-28.9%). There is no addition to the stocks of zinc and boron. The addition to manganese stocks is particularly high. The stocks of zinc mobile forms along with the addition were used up for removal by crop plants and for water migration. The stocks of mobile boron were used up for water migration. The evaluation of the usefulness of these stocks for plants in terms of element ratio revealed the excess of manganese and cobalt, and the deficiency of molybdenum, zinc and boron mobile forms. These research findings should be taken into account when developing fertilizer systems that include trace elements.