

УДК 631.452

Л. А. Воеводина, О. В. Воеводин

Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации, Новочеркасск,
Российская Федерация

МАГНИЙ ДЛЯ ПОЧВЫ И РАСТЕНИЙ

В результате анализа исследований, проводившихся в различных регионах мира, было установлено, что растения способны потреблять магний даже при 20-кратном превышении содержания кальция над содержанием магния, не испытывая недостатка, при условии достаточного содержания в почве общего магния. В то же время на поступление магния в растения могут оказывать существенное влияние такие конкурирующие ионы, как калий, аммоний и марганец. С усилением транспирации растения увеличивают потребление магния, поэтому достаточное поступление магния в растения в периоды наибольшего потребления элементов, обеспечивающих формирование урожая, таких как азот, калий, сера, является важным для наиболее полной реализации биопотенциала растений. Недостаток магния, тормозящий рост растений, возможен в основном на легких почвах при низких значениях pH и высоком содержании калия и (или) аммония, когда в почве мало обменного магния. Избыток магния может повлиять на растения при преобладании содержания магния над содержанием кальция, т. е. когда соотношение магний : кальций больше единицы. Такое же соотношение способствует проявлению негативных свойств почв: уменьшаются водопроницаемость и коэффициент фильтрации, образуется почвенная корка, усиливаются диспергирующие свойства натрия. Особенно сильно на преобладание обменного магния в почвенном поглощающем комплексе реагируют почвы, в которых значительная доля глинистых минералов представлена смектитом (монтмориллонитом), например черноземы обыкновенные. Проявление негативных свойств почв при повышенном содержании магния может являться следствием уменьшения содержания органического вещества в почвах ввиду отсутствия биологического накопления обменного магния в профиле почв.

Ключевые слова: магний, недостаток магния, избыток магния, смектит, чернозем обыкновенный, органическое вещество.

L. A. Voyevodina, O. V. Voyevodin

Russian Research Institute of Land Improvement Problems, Novocherkassk,
Russian Federation

MAGNESIUM FOR SOIL AND PLANTS

As a result of the analysis on the studies carried out in different parts of the world it is established that plants can uptake magnesium even at 20-fold excess of calcium over magnesium without any shortage when the content of total magnesium in soil is sufficient. At the same time, magnesium uptake by plants can be under the impact of such competing ions as potassium, ammonium, and manganese. When transpiration increases, plants enhance the uptake of magnesium. Therefore sufficient supply of magnesium in the periods of peak uptake of the elements which provide crop formation, such as nitrogen, potassium, sulfur, is essential for realizing bio-potential of plants. Magnesium deficiency, which inhibits plant growth, can usually occur in light soil at low pH values and high content of potassium and (or) ammonium, when soil is lack of exchangeable magnesium. Excess content of magnesium can affect on plants when the ratio of magnesium to calcium is bigger than unity. The same ratio facilitates for negative soil properties: water permeability and hydraulic conductivity decrease; soil

sealing forms; dispersion properties of sodium increase. The soils with high content of smectite (montmorillonite), such as ordinary chernozem, are the most susceptible to exchangeable magnesium predominance in soil exchangeable complex. Negative soil properties at higher magnesium content can be the result of organic matter content decreasing due to the absence of biological affinity with magnesium in soil profile.

Keywords: magnesium, magnesium shortage, magnesium excess, smectite, ordinary chernozem, organic matter.

Магний является важным элементом для осуществления таких основных функций в растениях, как фотосинтез (магний является центральным элементом в молекуле хлорофилла), транспорт фосфора, синтез сахаров, перераспределение крахмала, образование жира, фиксация азота в клубеньках бобовых. Магний также входит в состав многих энзимов и является их активатором, контролирует потребление питательных элементов, улучшает усвоение железа [1, 2].

В почве магний присутствует в форме различных минералов (доломита, вермикулита, иллита, монтмориллонита, хлорита и др.) [3, 4], в обменной форме в почвенном поглощающем комплексе и в ионной форме в почвенном растворе. Корни растений могут поглощать растворимый и обменный магний, который должен сначала перейти в почвенный раствор. В почвенном растворе магния обычно содержится от 12 до 48 мг/л в почвах промывного режима и от 48 до 195 мг/л – в почвах непромывного режима. В структуре глинистых минералов (типа 2 : 1) магний может высвободиться из необменных положений и прочно фиксироваться в этих же позициях [5].

Обычно транспорт магния к корням растений осуществляется в почвенном растворе массовым потоком (т. е. с помощью движения ионов к корню в конвективном потоке воды к поверхности корня). Количество магния, которое достигает корней растений с помощью массового потока, как правило, больше, чем скорость потребления корнями, в несколько десятков раз. В результате магний может накапливаться около корней растений [6].

На поступление магния в растение влияют концентрации других ка-

тионов (калия, кальция, марганца, железа, аммония и др.), рН почвенного раствора, емкость катионного обмена, низкие температуры, недостаточная влажность [1, 5, 7–10]. Так, по данным новозеландского исследователя А. J. Metson, увеличение содержания калия в почве или почвенном растворе снижало поглощение кальция и магния, причем магния в большей степени, чем кальция [7]. Наиболее чувствительными к избытку калия при недостатке магния являются злаковые, особенно кукуруза [1, 7]. С усилением транспирации растения увеличивают потребление магния быстрее, чем поглощение кальция, данные были получены при выращивании сеянцев ячменя с использованием питательных растворов [11]. Поэтому достаточное поступление магния в растения в периоды наибольшего потребления элементов, обеспечивающих формирование урожая, таких как азот, калий, сера, является важным для наиболее полной реализации биопотенциала растений.

Исследованиями U. Kafkafi было установлено, что при подаче через систему микроорошения аммоний конкурирует с магнием и может привести к дефициту магния [8]. Недостаток магния, приводящий к торможению роста растений, заметен прежде всего в легких почвах при низких значениях рН и высоком содержании калия и (или) аммония, когда в почве мало обменного магния [5, 9].

Корректировка недостатка магния может быть оперативно проведена с помощью внекорневой подкормки. Так, S. Townsend рекомендует проведение до трех листовых подкормок пшеницы дозой около 6 кг/га. Применение трех листовых подкормок в фазы колошения, стеблевания и появления кроющего листа увеличивало урожайность пшеницы с 9,5 до 10,1 т/га (примерно на 0,6 т/га) [10].

Подтверждением тормозящего действия ионов калия и марганца послужили результаты опыта, проведенного авторами с использованием лаборатории функциональной диагностики, в основу работы которой положена методика определения потребности растений в элементах питания

по фотохимической активности хлоропластов [12]. Анализы почвы (чернозема обыкновенного среднесуглинистого) указывали на достаточное и даже избыточное содержание магния в почве, а результаты функциональной диагностики выявили существенный недостаток магния на фоне избыточного содержания в почве калия и марганца. После внесения магниевых удобрений наблюдалось увеличение массы плодов томата в среднем на 36 % [13].

Избыток магния в почве на урожайность большинства сельскохозяйственных культур не оказывает влияния, если обменного кальция в почве больше, чем магния. При соотношении содержания кальция и магния от 1 до 20 доступность магния в почве остается удовлетворительной при достаточном содержании общего магния. В основном растения поглощают одинаковое количество кальция и магния, но, ввиду более прочной связи кальция с катионообменными участками почвы, обменного кальция должно быть больше, чем обменного магния, чтобы оба катиона поступали с равной скоростью к корням растений за счет массового потока и диффузии. Идеальное соотношение обменного кальция и магния варьирует у разных авторов от 2 до 8 в силу того, что почвы различаются по относительной силе связывания этих элементов на катионообменных участках [5, 14, 15].

Магний не только имеет значение как питательный элемент для растений, но и может влиять на физические свойства почв, которые особенно важны в орошаемых условиях. Под физическими свойствами принято понимать совокупность свойств, характеризующих физическое состояние почвы: гранулометрический и агрегатный состав; структурное состояние; удельный и объемный вес; пористость; воздушные, водные, тепловые, электрические и радиоактивные свойства. В широком понимании сюда же относятся свойства физико-механические, определяющие отношение почвы к внешним и внутренним механическим воздействиям: твердость; пластичность; вязкость; липкость; текучесть; усадка; сопротивление разрыву, сжатию, кручению; трение почвы о почву; трение почвы о металл и другие

материалы; удельное сопротивление почвы при обработке; сопротивление почвы движению машин и орудий [16].

В литературных источниках постоянно встречаются упоминания об ухудшении физических свойств почв под влиянием высокого содержания магния. При этом почвы проявляют свойства, характерные для почв с высоким содержанием натрия (многонатриевых солонцов), в то же время содержание натрия в исследуемых почвах отмечается на невысоком уровне [17, 18], то есть почвы обладают физической солонцеватостью. Такие почвы с содержанием поглощенного магния 25 % и выше от емкости обмена некоторые исследователи еще со второй половины 20-го века стали называть магнезиальными или магниевыми солонцами [19–21]. Их изучению в Прикаспийской низменности посвящены труды С. Я. Сушко и Н. И. Усова, в Украине – А. М. Можейко, в Ростовской области – М. Б. Минкина, В. М. Бабушкина и др. [22–27]. Так, Н. П. Панов в результате изучения происхождения малонатриевых солонцов Поволжья и Прииртышья отмечал, что неблагоприятные водно-физические и агротехнические свойства солонцовых почв могут быть обусловлены поглощенным магнием, который при определенном соотношении с натрием влияет на фильтрацию, капиллярный подъем воды, набухаемость и другие свойства почвы [27]. В то же время С. Я. Сушко, Н. И. Усов, А. М. Можейко, Л. Я. Мамаева отрицали роль магния в солонцеобразовании [22–24, 26].

В большинстве сообщений [18, 28–31] отмечается, что влияние магния не проявляется в карбонатных почвах, содержащих существенные количества CaCO_3 , т. к. присутствие обменного магния увеличивает растворение CaCO_3 в данных почвах, а электролиты препятствуют диспергации глин и потере гидравлической проводимости в натриево-магниевых карбонатных почвах [17, 28]. Однако при вымывании CaCO_3 из почвы оросительной водой, содержащей значительные количества бикарбонатов и магния, происходит замещение натрия магнием в почвенном поглощающем

комплексе, например, светлых сероземов [32]. В то же время имеются исследования, свидетельствующие о том, что магний, адсорбированный содержащими монтмориллонит почвами, понижал скорость фильтрации и увеличивал эрозию вне зависимости от содержания CaCO_3 [33].

Одним из важных показателей, характеризующих почвы, является коэффициент фильтрации, демонстрирующий способность почвы проводить насыщенный поток влаги под действием градиента гидравлического давления, обычно близкого к единице [34]. Опыты с почвами Среднего Запада США показали, что коэффициент фильтрации почв с низким содержанием обменного магния в 7 раз превышал этот же показатель для почв такого же гранулометрического состава при соотношении $\text{Mg} : \text{Ca} > 1$ [18].

Другие исследователи сообщают, что магний способен усиливать негативное действие натрия [17, 27, 35], особенно в почвах нарушенного сложения старопахотных массивов. Так, при изучении австралийских почв в отдельных образцах было обнаружено, что обменный магний в присутствии натрия увеличивает сцепление почв немного сильнее, чем кальций. Данный факт подтвердил влияние ионных радиусов этих элементов [36], которые составляют для гидратированных ионов кальция и магния 412 и 428 пм, для негидратированных ионов – 100 и 72 пм соответственно [37–39].

Также неблагоприятное влияние магния в основном не характерно для почв с соотношением обменных $\text{Ca} : \text{Mg}$ больше единицы [18, 29–31]. С увеличением отношения $\text{Mg} : \text{Ca}$ диспергация глины в почвах Канадских прерий увеличивалась в существенно большей степени, чем под действием только обменного натрия, т. е. именно магний оказывал специфическое влияние на диспергацию глины [17].

Значительное влияние на рост и развитие растений оказывает структурное состояние почвы, которое особенно важно для почв тяжелого гранулометрического состава [40]. При изучении конвекции в черноземах обыкновенных солонцеватых красноярской лесостепи Н. И. Кура-

ченко и Г. Н. Бондаренко установили, что в почвенном профиле доминировали глыбистые агрегаты высокой водопрочности. Одной из причин этого было названо высокое содержание магния в почвенном поглощающем комплексе [41].

О диспергирующем действии магния и ухудшении стабильности сообщали различные исследователи. Так, D. Curtin, H. Steppuhn, F. Selles в ходе изучения почв Канадских прерий предположили, что 5 % обменного магния соответствует 1 % диспергирующего действия натрия [17]. Австралийские ученые установили [35], что магний может усиливать действие обменного натрия, вызывая разрушение структуры почвы, при следующих условиях: содержание обменного магния больше 30 % от суммы основных катионов, отношение кальция к магнию меньше единицы, содержание обменного натрия более 4 % и (или) сумма обменного натрия (в процентах) и обменного магния (в процентах, поделенных на 10) больше 6. При сравнении кальциево-магниевых и кальциево-натриевых форм иллитов W. W. Emerson и C. L. Chi определили, что концентрация обменного магния должна примерно в 10 раз превышать эквивалентную концентрацию натрия, для того чтобы вызвать дезагрегацию в такой же степени [42].

Таким образом, единого мнения об оценке диспергирующего действия магния на почвы не существует. Важную роль играет минеральная часть почвообразующих пород [33, 41]. Особенно чувствительными к изменению содержания магния оказываются почвы с высоким содержанием смектита (монтмориллонита). Так, уменьшение содержания обменного магния было присуще только почвам, в глинистой фракции которых уменьшалось содержание смектита, однако это явление не было характерно для почв, содержащих такие глинистые минералы, как вермикулит, хлорит, иллит [43]. Само наличие монтмориллонитовой илистой фракции, вызывающей сильное набухание почвенной массы, признается многими авторами одной из причин ухудшения физических свойств черноземов [44–50].

Повышенное содержание магния, по мнению ряда авторов [18, 33], способствовало образованию почвенной корки. Так, в эксперименте, проведенном D. Norton и K. Dontsova [18] с симулятором выпадения дождевых осадков интенсивностью 64 мм/ч для установления коэффициента фильтрации и эрозии для пяти почв со Среднего Запада США, содержащих различное количество обменного магния, было установлено, что все почвы, кроме песчаных, образовали почвенную корку, при этом в почве с преобладанием магния значительно снижался коэффициент фильтрации.

Проявление негативных свойств почв при повышенном содержании магния может являться следствием уменьшения содержания органического вещества в почвах. Об отсутствии сродства магния почв с органическим веществом сообщают многие авторы [51–53]. Е. А. Афанасьевой при исследовании обыкновенных и южных черноземов юго-востока европейской части СССР было установлено, что уменьшение содержания обменного кальция с глубиной происходит параллельно уменьшению количества гумуса, в то же время биологическое накопление обменного магния в профиле почвы отсутствовало [52]. При изучении почв Канадских прерий с преобладанием смектитов было установлено, что органическое вещество является главным источником центров адсорбции кальция [51], т. е. именно благодаря органическому веществу кальций присутствует в почвенном поглощающем комплексе и способствует сохранению благоприятной почвенной структуры.

Выводы. Таким образом, можно заключить, что растения способны потреблять магний в довольно широком диапазоне, не испытывая недостатка даже при 20-кратном превышении содержания кальция над содержанием магния при условии достаточного содержания общего магния в почве. Однако на поступление магния в растения могут оказывать существенное влияние такие конкурирующие ионы, как калий, аммоний, марганец. Недостаток магния, тормозящий рост растений, возможен в основном на

легких почвах при низких значениях рН и высоком содержании калия и (или) аммония, когда в почве мало обменного магния. Избыток магния может повлиять на растения при преобладании содержания магния над содержанием кальция, т. е. когда соотношение содержания магния и содержания кальция больше единицы. Неблагоприятное влияние магния в основном не характерно для почв с соотношением обменных Ca : Mg больше 1; при преобладании Mg над Ca проявляется диспергация глины, увеличивается содержание глыбистых агрегатов, усиливается действие обменного натрия, которое начинает проявляться при содержании Mg более 30 % от суммы основных катионов. Особенно чувствительными к изменению содержания магния оказываются почвы с высоким содержанием смектита (монтмориллонита). Проявление негативных свойств почв при повышенном содержании магния может являться следствием уменьшения содержания органического вещества в почвах ввиду отсутствия биологического накопления обменного магния в профиле почв.

Список литературы

- 1 Spectrum Analytic, 2010. Magnesium Basics [Electronic resource]. – Mode of access: http://spectrumanalytic.com/support/library/ff/Mg_Basics.htm, 2014.
- 2 Marschner, H. Mineral nutrition of higher plants / H. Marschner. – 3rd ed. – London, 2011. – 672 p.
- 3 Lindsay, W. L. Chemical Equilibria in Soils / W. L. Lindsay. – Blackburn Press, 2001. – 449 p.
- 4 Salmon, R. C. Magnesium relationships in soils and plants / R. C. Salmon // Journal of the Science of Food and Agriculture. – 1963. – Vol. 14, N 9. – P. 605–610.
- 5 Барбер, С. А. Биологическая доступность питательных веществ в почве. Механистический подход / С. А. Барбер. – М.: Агропромиздат, 1988. – 376 с.
- 6 Barber, S. A. A diffusion and mass flow concept of soil nutrients availability / S. A. Barber // Soil Science. – 1962. – Vol. 93. – P. 39–49.
- 7 Metson, A. J. Magnesium in New Zealand soils. I. Some factors governing the availability of soil magnesium / A. J. Metson // N. Z. J. Exp. Agric. – 1974. – Vol. 2. – P. 277–319.
- 8 Kafkafi, U. Effect of potassium, nitrate and ammonium nitrate on the growth, cation uptake and water requirement of tomato grown in sand soil culture / U. Kafkafi, I. Walerstein, S. Feigenbaum // Israel J. agric. Res. – 1971. – Vol. 21. – P. 13–30.
- 9 Kafkafi, U. Fertigation: A Tool for Efficient Fertilizer and Water Management / U. Kafkafi, J. Tarchitzky; IFA, Paris, France, IPI, Horgen, Switzerland. – Paris, 2011. – 139 p.
- 10 Townsend, S. The Soil First Farming Guide to Magnesium nutrition – are your

crops getting enough? [Electronic resource] / S. Townsend. – Mode of access: <http://maxi-phi.co.uk/wp-content/uploads/2012/06/Steve-Townsend-Expert-Magnesium-Nutrition-Guide.pdf>, 2014.

11 Lazaroff, N. Calcium and magnesium uptake by barley seedling / N. Lazaroff, M. G. Pitman // *Aust. J. Biol. Sci.* – 1966. – Vol. 19. – P. 991–1005.

12 Церлинг, В. В. Диагностика питания сельскохозяйственных культур: справ. / В. В. Церлинг. – М.: Агропромиздат, 1990. – 235 с.

13 Воеводина, Л. А. Обеспечение томатов питательными элементами при капельном орошении / Л. А. Воеводина // Пути повышения эффективности орошаемого земледелия: сб. науч. тр. / ФГБНУ «РосНИИПМ». – Новочеркасск: «Геликон», 2011. – Вып. 45. – С. 6–14.

14 Глунцов, М. Н. Агрохимическая лаборатория овощевода / М. Н. Глунцов. – М.: Росагропромиздат, 1989. – 192 с.

15 Fox, R. H. Soil magnesium level, corn (*Zea mays* L.) yield and magnesium uptake / R. H. Fox, W. P. Piekielek // *Communications in Soil Science and Plant Analysis.* – 1984. – Vol. 15(2). – P. 109–123.

16 Толковый словарь по почвоведению / М. М. Абрамова, Л. Н. Александрова, Я. М. Аммосова [и др.]. – М.: «Наука», 1975. – 288 с.

17 Curtin, D. Effects of Magnesium on Cation Selectivity and Structural Stability of Sodic Soils / D. Curtin, H. Steppuhn, F. Selles // *Soil Science Society of America Journal.* – 1994. – Vol. 58(3), Iss. 1. – DOI: 10.2136/sssaj1994.03615995005800030013x.

18 Norton, D. Use of soil amendments to prevent soil surface sealing and control erosion / D. Norton, K. Dontsova // *Advances in GeoEcology.* – 1998. – № 31. – P. 581–587.

19 Ellis, J. H. Magnesium clay «solonetz» / J. H. Ellis, O. C. Goldwell // *Transact. of the 3d Intern. Congress of Soil Sci., London, 1955.* – London, 1955. – Vol. 1. – P. 348–350.

20 Гоголев, И. Н. Диагностические признаки и принципы классификации солонцеватых почв / И. Н. Гоголев, И. Н. Волошин // *Мелиорация солонцов: сб. науч. тр.* – М., 1968. – Ч. 1. – С. 206–216.

21 Градобоев, Н. Д. Опыт мелиорации солонцов и солонцовых почв Западной Сибири / Н. Д. Градобоев // *Мелиорация солонцов: сб. науч. тр.* – М., 1966. – С. 38–50.

22 Сушко, С. Я. Роль поглощенного магния в образовании солонцовых свойств в почвах / С. Я. Сушко // *Химизация социалистического земледелия.* – 1933. – № 3. – С. 217–220.

23 Усов, Н. И. Роль поглощенного магния в образовании солонцовых свойств почвы / Н. И. Усов // *Труды конференции по почвоведению и физиологии культурных растений.* – Саратов, 1937. – С. 44–61.

24 Можейко, А. М. Гипсование солонцеватых каштановых почв УССР, орошаемых минерализованными водами, как метод борьбы с осолонцеванием этих почв / А. М. Можейко // *Труды Украинского НИИ почвоведения.* – 1958. – Т. 3. – С. 111–208.

25 Минкин, М. Б. Солонцы юго-востока Ростовской области / М. Б. Минкин, В. М. Бабушкин, П. А. Садименко. – Ростов н/Д.: Изд-во Ростовского ун-та, 1980. – 272 с.

26 Мамаева, Л. Я. Роль поглощенного магния в солонцеватости почв / Л. Я. Мамаева // *Земледельческое освоение полупустынных земель.* – М.: Изд-во «Наука», 1966. – С. 98–128.

27 Панов, Н. П. Особенности генезиса почв солонцовых комплексов степной зоны: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.532 / Панов Николай Петрович. – М., 1972. – 32 с.

28 Alperovitch, N. Specific effect of magnesium on the hydraulic conductivity of sodic soils / N. Alperovitch, I. Shainberg, R. Keren // *European Journal of Soil Science.* – 2006. – Vol. 32(4), № 7. – P. 543–554.

29 Dontsova, K. Effect of exchangeable Ca : Mg ratio on soil clay flocculation, infil-

tration and erosion / K. Dontsova, D. Norton // Selected papers from the 10th International Soil Conservation Organization Meeting, Purdue, 1999. – Purdue, 1999. – P. 580–585.

30 Zhang, X. C. Effect of exchangeable Mg on saturated hydraulic conductivity, disaggregation and clay dispersion of disturbed soils / X. C. Zhang, L. D. Norton // Journal of Hydrology. – 2002. – № 260. – P. 194–205.

31 Лозовицкий, П. С. Изменение свойств темно-каштановой почвы в условиях длительного орошения на Каховской оросительной системе / П. С. Лозовицкий // Почвоведение. – 2005. – № 5. – С. 620–633.

32 Development of magnesium-dominant soils under irrigated agriculture in Southern Kazakhstan / A. Karimov, M. Qadir, A. Noble, F. Vyshpolsky, K. Anzelm // Pedosphere. – 2009. – Vol. 19, № 3. – P. 331–343.

33 Keren, R. Specific effect of magnesium on soil erosion and water infiltration / R. Keren // Soil Science Society of America Journal. – 1991. – Vol. 55, № 3. – P. 783–787. – DOI: 10.2136/sssaj1991.03615995005500030025x.

34 Шеин, Е. В. Агрофизика [Электронный ресурс] / Е. В. Шеин, В. М. Гончаров; МГУ им. Ломоносова. – Режим доступа: http://pochva.com/studentu/study/books/index.php?query=%C0%E3%F0%EE%F4%E8%E7%E8%EA%E0&by=all&format_search=d&n=1, 2015.

35 Fenton, G. Interpreting soil test for calcium, magnesium and Ca : Mg ratios: Leaflet no. 7 / G. Fenton, M. Conyers; New South Wales Department of Agriculture, Wagga Wagga Agricultural Institute. – 2002.

36 The strength of remolded soils as affected by exchangeable cations and dispersible clay / A. R. Barzegar, R. S. Murray, G. J. Churchman, P. Rengasamy // Australian Journal of Soil Research. – 1994. – Vol. 32(2), № 1. – DOI: 10.1071/SR9940185.

37 Volkov, A. G. Liquid-liquid interfaces: Theory and Method / A. G. Volkov, D. W. Deamer. – CRC Press, Boca Raton, FL, 1996. – 448 p.

38 Gourary, B. S. Wave Functions for Electron-Excess Color Centers in Alkali Halide Crystals / B. S. Gourary, F. J. Adrian // Solid State Phys. – 1960. – Vol. 10. – P. 127–247.

39 Conway, B. E. Ionic hydration in chemistry and biophysics / B. E. Conway. – New York: Elsevier Publ., 1981. – 774 p.

40 Теории и методы физики почв: коллект. моногр. [Электронный ресурс] / под ред. Е. В. Шеина, Л. О. Карпачевского. – М.: «Гриф и К», 2007. – Режим доступа: <http://pochva.com>, 2014.

41 Кураченко, Н. И. Структурное состояние черноземов обыкновенных солонцеватых Красноярской лесостепи / Н. И. Кураченко, Г. Н. Бондаренко // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. – 2010. – № 3. – С. 18–23.

42 Emerson, W. W. Exchangeable calcium, magnesium and sodium and the dispersion of illites in water. II. Dispersion of illites in water / W. W. Emerson, C. L. Chi // Australian Journal of Soil Research. – 1977. – Vol. 15(3), № 1. – DOI: 10.1071/SR9770255.

43 Chu, C. H. Relationship between exchangeable and total magnesium in Pennsylvania soils / C. H. Chu, L. J. Johnson // Clays and Clay Minerals. – 1985. – Vol. 33(4), № 1. – P. 340–344.

44 Ковда, В. А. Солончаки и солонцы / В. А. Ковда. – М. – Л.: Изд-во АН СССР, 1937. – 243 с.

45 Ковда, В. А. Происхождение и режим засоленных почв. Т. I / В. А. Ковда. – М.: Изд-во АН СССР, 1946. – 568 с.

46 Ковда, В. А. Происхождение и режим засоленных почв. Т. II / В. А. Ковда. – М.: Изд-во АН СССР, 1947. – 375 с.

47 Скуратов, Н. С. Использование и охрана черноземов / Н. С. Скуратов, Л. М. Докучаева, О. Ю. Шалашова. – М.: ЦНТИ «Мелиоводинформ», 2001. – 246 с.

48 Минашина, Н. Г. Заботиться о плодородии почв при орошении / Н. Г. Минашина // Мелиорация и водное хозяйство. – 1988. – № 2. – С. 36–38.

49 Мелиорация солонцовых почв в условиях орошения / Н. С. Скуратов [и др.]. – Новочеркасск: НОК, 2005. – 180 с.

50 Докучаева, Л. М. Физические свойства чернозема обыкновенного после химической мелиорации удобрительно-мелиорирующими компостами [Электронный ресурс] / Л. М. Докучаева, Е. В. Долина // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации: электрон. периодич. изд. / Рос. науч.-исслед. ин-т проблем мелиорации. – Электрон. журн. – Новочеркасск: РосНИИПМ, 2011. – № 2(02). – 8 с. – Режим доступа: <http://rosniipm-sm.ru/archive?n=21&id=30>.

51 Curtin, D. Estimating calcium-magnesium selectivity in smectitic soils from organic matter and texture / D. Curtin, F. Selles, H. Steppuhn // Soil Science Society of America Journal. – 1998. – Vol. 62(5), № 1. – DOI: 10.2136/sssaj1998.03615995006200050019x.

52 Афанасьева, Е. А. Водно-солевой режим обыкновенных и южных черноземов юго-востока европейской части СССР / Е. А. Афанасьева. – М.: Наука, 1980. – 218 с.

53 Безуглова, О. С. Взаимосвязь физических свойств и гумусированности в черноземах юга Европейской России / О. С. Безуглова, Н. В. Юдина // Почвоведение. – 2006. – № 2. – С. 211–220.

Воеводина Лидия Анатольевна

Ученая степень: кандидат сельскохозяйственных наук

Должность: старший научный сотрудник

Место работы: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: пр. Баклановский, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Voyevodina Lidiya Anatolyevna

Degree: Candidate of Agricultural Sciences

Position: Senior Researcher

Affiliation: Russian Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: ave. Baklanovskiy, 190, Novochoerkassk, Rostov Region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Воеводин Олег Владимирович

Ученая степень: кандидат сельскохозяйственных наук

Должность: ведущий научный сотрудник

Место работы: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Российский научно-исследовательский институт проблем мелиорации»

Адрес организации: пр. Баклановский, 190, г. Новочеркасск, Ростовская область, Российская Федерация, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru

Voyevodin Oleg Vladimirovich

Degree: Candidate of Agricultural Sciences

Position: Leading Researcher

Affiliation: Russian Research Institute of Land Improvement Problems

Affiliation address: ave. Baklanovskiy, 190, Novochoerkassk, Rostov Region, Russian Federation, 346421

E-mail: rosniipm@yandex.ru