

va T.N., Chernomorchenko N.I., Manucharov A.S. Praktikum po fizike tverdoi fazy pochv. Uchebnoe posobie. – M.: Grif i K, 2011. – 63 s.

6. Khaydapova D.D., Milanovskiy E.Yu. Influence of Organic Matter on Rheological Properties of Chernozem // IV International Conference on Colloid Chemistry and Physicochemical Mechanics (30.June – 05.July, 2013) Book of Abstracts. – P. 531-532.

7. Khaydapova D., Milanovskiy E.Yu., Shein E.V. Impact of Antropogenic Load on

Rheological Properties of Typical Chernozems (Kursk Region, Russia). Soil Degradation, Advances in Geocology 42, Catena Verlag GMBH Germany, 2013. – P. 62-71.

8. Mezger T.G. The Rheology Handbook. 2011. 3-rd Revised Edition, Hanover, Germany. – P. 436.

9. Markgraf W., Horn R., Peth S. 2006. An approach to rheometry in soil mechanic-structural changes in bentonite, clayey and silty soils. Soil and Tillage Research 91. – P. 1-14.



УДК 631.4:63.53

В.М. Гончаров
V.M. Goncharov

АГРОФИЗИКА ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

AGROPHYSICS OF SOIL COVER

Ключевые слова: агрофизика, серые лесные почвы, водообеспеченность, водоудерживающая способность, водопроницаемость, индекс оптимальности режима, математическое моделирование.

Представлены результаты комплексной агрофизической оценки фоновых серых лесных почв и почв со вторым гумусовым горизонтом, проведенной на основе модельных расчетов их водно-воздушного режима. В качестве экспериментальной основы для модели были использованы результаты исследований основных физических свойств почв и их водоудерживающей способности. Обосновано, что получение пространственно-распределенной агрофизической информации и комплексных показателей, аккумулирующих в себе характеристики водно-воздушного режима почв, дает возможность оценить агрофизические условия в пределах изучаемого ландшафта. Использование именно такого рода агрофизических подходов позволяет применить современные взгляды и методы агрофизики к развиваемым методам ландшафтного земледелия.

Keywords: agrophysics, gray forest soils, water availability, water retention, water permeability, regime optimality index, mathematical modeling.

The paper presents the results of a comprehensive agrophysical evaluation of background gray forest soils and soils with the second humus horizon; the evaluation was performed on the basis of model calculations of the soils' water-air regime. The results of the studies of the basic physical properties of the soils and their water-holding capacity were used as the experimental basis for the model. It is proved that by obtaining spatially distributed agrophysical information and integrated indicators which accumulate the features of soil water-air regime it is possible to evaluate the agrophysical conditions within the studied landscape. The use of these particular agrophysical approaches enables applying modern views and methods of agrophysics to the developed methods of landscape specific agriculture.

Гончаров Владимир Михайлович, к.б.н., доцент, зам. декана, фак-т почвоведения, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова. Тел.: (495) 939-29-47. E-mail: main@soil.msu.ru.

Goncharov Vladimir Mikhaylovich, Cand. Bio. Sci., Assoc. Prof., Vice-Dean, Soil Science Dept., Lomonosov Moscow State University. Ph.: (495) 939-29-47. E-mail: main@soil.msu.ru.

В последнее время большое внимание уделяется проблеме неоднородности почв и почвенных свойств. В основном это связано с развитием точного земледелия «high-tech sustainable agriculture», основанного на учете пространственной вариабельности характеристик конкретного поля.

Неоднородность почвенного покрова является основной причиной значительного варьирования физических свойств почв. При этом возникают вопросы соответствия закономерностей пространственного распределения физических и почвенно-генетических свойств, особенностей пространственного варьирования физических свойств [1].

Существующие методы агрофизического обследования территории проводятся по ключевым точкам с последующей пространственной экстраполяцией на контур почвенной карты, предполагая скачкообразный характер изменения свойств почвы на его границах. Такое разделение является искусственным, и совершенно не учитывают поведение и распределение свойств в почвенном пространстве, их непрерывность и латеральность. К тому же подобный подход не учитывает изменений физических свойств в ландшафте, которые являются результатом не только почвенно-генетических, но и разнообразных технологических, агрохимических и других воздействий.

Представлены результаты исследований неоднородности комплекса серых лесных почв Владимирского ополья и их агрофизической оценки. Почвенный покров ополья представлен серыми лесными почвами, серыми лесными почвами разной степени оподзоленности, серыми лесными остаточнокарбонатными, а также серыми лесными средне- и сильнооподзоленными почвами со вторым гумусовым горизонтом.

Для оценки педогенетических процессов на уровне, позволяющем исследовать основные элементы почвенного покрова, различия свойств между почвами, горизонтами, внутри горизонтов был применен метод длинномерных (до 50 м) трансект, вдоль которых подробно, с шагом опробования 20-40 см изучалась морфология почвенных горизонтов и определялись основные физические свойства.

В трансектах следует отметить положение почв со 2-м гумусовым горизонтом: они выделяются не только визуально, по морфологическим признакам, но и совершенно определены по физическим свойствам – имеют низкую плотность за счет высокого содержания гумуса и сохраняют эти отличия даже в пахотном слое, подверженном интенсивному антропогенному воздействию и перемешиванию. К этим участкам трансекты приурочены повышенный коэффициент потенциальной проводимости (отношение логарифма водопроницаемости (мм/мин.) к общей пористости ($\text{см}^3/\text{см}^3$)), имеющий выраженное направление в глубину почвенного профиля. Такое распределение указывает на явную тенденцию к вертикальному передвижению влаги в этой зоне. По всей остальной протяженности профиля на глубине 20-25 см заметно формирование уплотненной «плужной подошвы», которая имеет низкую проводимость и является определенным «экраном», препятствующим стоку влаги в нижележащие слои.

Следовательно, сложность, комплексность, почвенного покрова определяет и «мозаичность» распределения физических

свойств, формирующих условия массо- и энергообмена в агроландшафте. Влияние длительной сельскохозяйственной обработки и формирование уплотненного подпахотного горизонта приводят к горизонтальной слоистости свойств из исходно вертикальной организации почвенного профиля. Такая слоистость в распределении почвенно-физических свойств не является непрерывной, а определяется генетическим происхождением слагающих почвенного покрова.

Так, в случае появления почв со 2-м гумусовым горизонтом этот уплотненный слой уменьшается или исчезает совсем. Здесь возможно проявление вертикальных потоков влаги, и эти участки могут играть роль естественных дренажей при формировании водного режима агроландшафта [2].

Такое распределение физических свойств характеризует почвенный покров как достаточно «мозаичное», по функционированию, образование со сложной агрофизической картиной, обусловленной как педогенетическими (наличие второго гумусового горизонта, чередование горизонтов и др.), так и агротехнологическими причинами (особенности обработки, формирование «плужной подошвы» и др.).

Агрофизическая неоднородность проявляется не только вследствие разнообразного сочетания морфологических горизонтов и на уровне морфологического горизонта, когда в нем могут наблюдаться зоны, различающиеся по физическим свойствам.

В большинстве используемых сегодня подходов агрофизическая оценка почвы проводится по ее свойствам. В то же время реальную «жизнь» почвы можно представить на основе ее режимов, определяющих условия роста растений и, в конечном счете, урожай. Поэтому в рамках развития ландшафтных принципов в современной агрофизике было предложено использовать такие показатели, которые характеризовали бы почву по изменяющимся во времени условиям, в первую очередь, содержанию влаги и воздуха, т.е. по водно-воздушному режиму.

Однако режимные наблюдения длительны и трудоемки, поэтому целесообразно применение прогнозных расчетов с помощью математических моделей, для которых в качестве основы используются экспериментально определяемые физические свойства почвы: плотность, водопроницаемость, предельная полевая влагоемкость (ППВ или НВ), зависимость давления почвенной влаги от влажности (ОГХ) и др.

Задавая в этих моделях внешние исходные условия (осадки, испарение, отток), можно прогнозировать изменения влажности (или давления влаги), т.е. сделать прогнозный режимный расчет. Этот подход позволяет рас-

считать элементы режима и дать агрофизическую оценку для каждой точки поля. Имея агрофизическую характеристику по всем точкам опробования в виде экспериментальных послойно определенных свойств, а также ОГХ и функции влагопроводности, появляется возможность выделить зоны, различающиеся по физическим основам почвенного плодородия, количественно охарактеризовать агрофизические свойства для сельскохозяйственного поля в целом.

Представлены результаты комплексной агрофизической оценки исследованных почв, проведенной на основе модельных расчетов их водно-воздушного режима. В качестве экспериментальной основы для модели были использованы результаты исследований основных физических свойств почв и их водоудерживающей способности.

Анализ ОГХ фоновых серых лесных почв и почв со вторым гумусовым горизонтом указывает на основную тенденцию – к большей водоудерживающей способности второй почвы (рис. 1).

Это связано высокой пористостью и повышенным содержанием органического вещества в почвах с Ah – в горизонте $A_{\text{пах}}$ серой лесной почвы плотность составляет $1,48 \text{ г/см}^3$, а в почве со вторым гумусовым горизонтом – $1,22 \text{ г/см}^3$. В рыхлых почвах больше объем крупных пор и пустот, а в уплотненных при уменьшении общего объема порового пространства начинают преобладать более тонкие капиллярные. Соответственно, уменьшается и объем рыхлосвязанной и легкоподвижной влаги, удерживаемой в крупных порах, находя отражение в виде смещения кривых водоудерживания влево, в область меньших значений.

Полученные результаты исследований физических свойств и водоудерживающей способности почв составили основу для математического моделирования водно-воздушного режима.

В работе для расчетов применялись физически обоснованная математическая модель HYDRUS, где в качестве экспериментальной основы используются основная гидрофизическая характеристика и функция влагопроводности [3].

Чтобы использовать прогнозный расчет для сравнительной агрофизической оценки почв, необходимо стандартизировать начальные и граничные условия. Равные условия на «старте» расчета позволяют выявить составляющую, обусловленную собственно свойствами почв, их сложением, мощностью и чередованием слоев, их фильтрационными свойствами, а не внешними факторами – дефицитом или избытком атмосферных осадков.

Динамика влажности показала в серых лесных почвах к концу 12-дневного межполивного периода заметное иссушение верхних слоев, практически не затрагивающее низ профиля. В серой лесной почве со вторым гумусовым горизонтом на глубине 30-50 см проявляется своеобразный слой-влагонакопитель, соответствующий положению в профиле Ah и снижающий вероятность иссушения этих почв до 0. О повышенной влагоемкости Ah уже свидетельствовали вышеприведенные экспериментальные данные.

Поскольку основные изменения влажности происходят в верхних слоях почвы, в так называемом деятельном слое, большое значение при оценке режима имеет мощность расчетного слоя, учитывающая вид сельскохозяйственных культур, агротехнологии. Для условий гумидной зоны при выращивании трав и поливных культур с развитой корневой системой расчетный слой принимают 30-50 см.

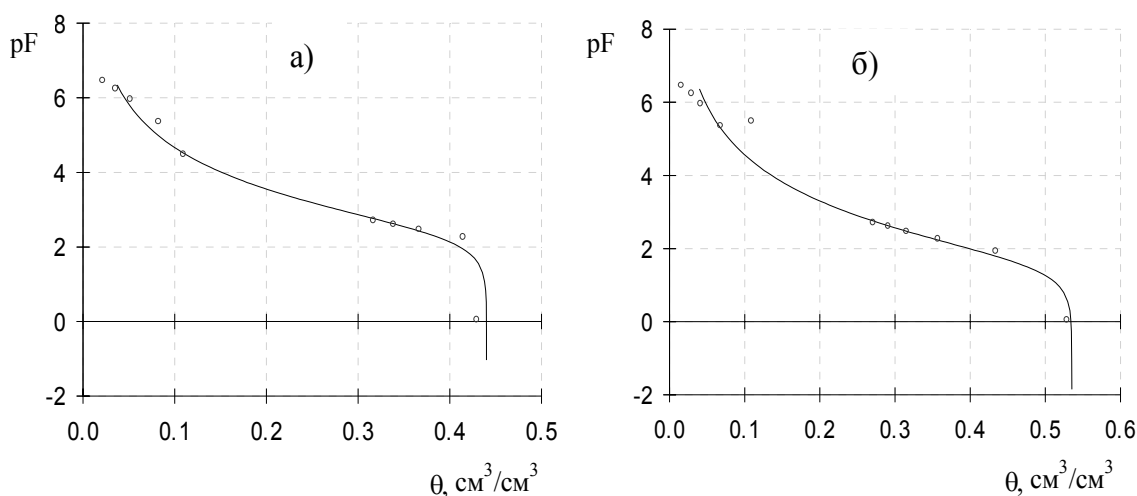


Рис. 1. ОГХ образцов пахотного горизонта участка Владимирского ополья: а – серые лесные; б – серые лесные с Ah

Запасы влаги как показатель влагообеспеченности растений, наряду с воздухосодержанием, являются важными составляющими водно-воздушного режима почв. На этих показателях и основаны критерии оценки агрофизических условий, когда в качестве «критических» порогов предложены: (1) воздухо-содержание менее 10% от общего объема пор, как появление недостатка воздуха, и (2) влажность менее 70% НВ, как начало недостаточного увлажнения. Можно использовать и «критические» значения давления влаги: (1) давление барботирования – 10 см водного столба, как условие переувлажнения, и (2) «критическое» давление, при котором начинает проявляться недостаток влаги и снижается транспирация растений – 500-600 см водного столба [4].

Агрофизическую оптимальность целесообразно оценивать продолжительностью «благоприятных» периодов или вероятностью их появления в расчетном цикле. Чем она (вероятность) больше, т.е. больше длительность благоприятных периодов, тем лучше агрофизическое состояние почвы. При этом учитывается влагосодержание всей расчетной толщи в виде суммарных запасов влаги, что позволяет характеризовать не отдельные почвенные слои, а функционирование профиля в целом.

Периоды переувлажнения, с наибольшей вероятностью (0,08) возникающие в серых лесных и серых лесных слабо- и среднеподзоленных почвах, обусловлены их невысокой водопроницаемостью. Длительность засушливых периодов в расчетном цикле гораздо меньше, вероятность их появления не более 0,01, их максимальные значения также характерны для серых лесных и серых лесных слабоподзоленных почв. Это следствие уплотнения, при котором сокращается, в первую очередь, объем крупных пор. При высокой плотности, обладая сетью преимущественно тонких пор и, следовательно, большей проводимостью именно в области низких значений влажности, уплотненные почвы по капиллярам легко проводят влагу к верхним слоям, где та быстро испаряется [5]. Такие иссушенные участки могут выделяться в почвенном покрове и негативно влиять на влагообеспеченность культур [6].

Количественной характеристикой может служить показатель, названный «индексом оптимальности режима», $IOP = ([100 - P_1] [100 - P_2])^{1/2}$, где P_1 и P_2 – вероятности недостатка влаги и воздуха соответственно. Этот показатель, базирующийся на основных физических свойствах почвы, отражает реальные условия роста и развития растений и является, следовательно, комплексной агрофизической оценкой.

Индекс ИОР как комплексный количественный показатель, подводя итог вероятностной агрофизической оценке, подтвердил, что наилучшие условия приурочены к контурам серых лесных почв со 2-м гумусовым горизонтом (0,98), а минимальные его значения отмечены в серых лесных почв (0,91). При увеличении расчетного слоя различия в значениях ИОР снижаются, но отмеченная дифференциация сохраняется.

Следующим вполне закономерным шагом стало нахождение зависимости урожая растений от величины ИОР в почвенных разностях, которая подтверждается статистическими показателями варьирования (рис. 2).

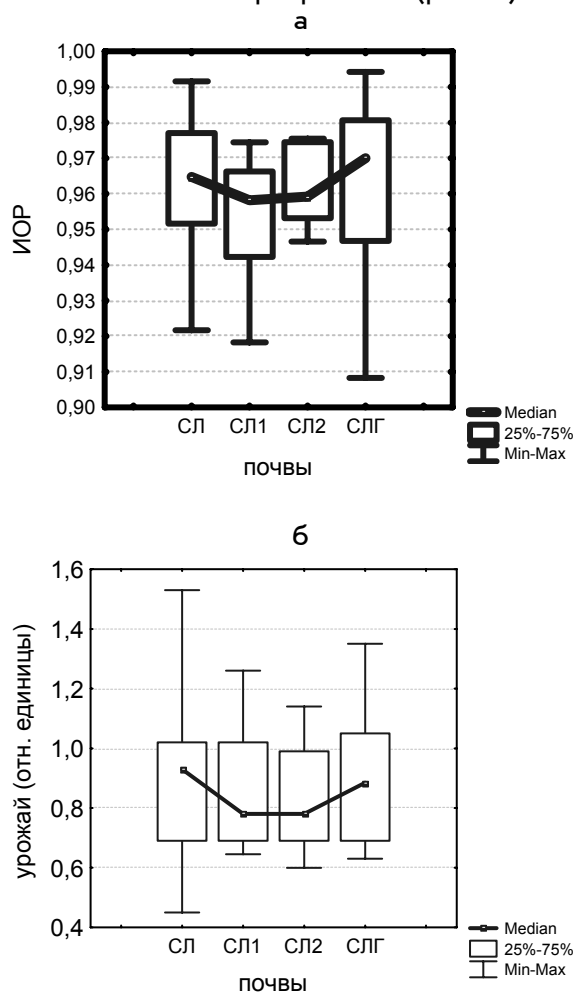


Рис. 2. Статистики варьирования значений (а) ИОР и (б) урожая (отн. ед.) для основных почвенных разностей исследованного агроландшафта Владимирского ополя

Следует отметить, что характеристика агрофизических условий по величине ИОР не является абсолютной. Она может измениться, если задавать для расчетного периода засушливые или, напротив, излишне влажные условия, различную мощность расчетного слоя и другие условия, которые могут изменяться в зависимости от целевого назначения исследований. Однако сам подход, основан-

ный на выявлении пространственного распределения физических свойств почв, соотношении этого распределения с расположением почвенных контуров в пространстве и прогнозной оценке агрофизических условий, – это подход для обоснования, проведения и интерпретации данных по полевым масштабным экспериментам и научная основа для разработки агроландшафтных систем земледелия.

Получение пространственно-распределенной агрофизической информации и комплексных показателей, аккумулирующих в себе характеристики водно-воздушного режима почв, дают возможность оценить агрофизические условия в пределах изучаемого ландшафта. Использование именно такого рода агрофизических подходов дает возможность применить современные взгляды и методы агрофизики к развиваемым методам ландшафтного земледелия.

Библиографический список

1. Дмитриев Е.А. К проблеме неоднородности почв почвенного покрова. Теоретические и методологические проблемы почвоведения. – М.: ГЕОС, 2001. – С. 100-116.
2. Шеин Е.В., Умарова А.Б., Кирдяшкин П.И., Самойлов О.А. Преимущественные потоки влаги в структурных суглинистых почвах. Proc. Int. Conf. «Soil Science – Base for sustainable Agriculture and Environment Protection». – Sofia, Bulgaria. ПъблишСайСет-Еко», Part 1, 2007. – P. 113-115.
3. Бенинг В.Е., Гончаров В.М. Использование методов математического моделирования для агрофизической оценки почвенного покрова // Прикладная математика: вестник Тверского государственного университета. – 2010. – № 9. – Вып. 1 (16). – С. 43-54.
4. Судницын И.И. Движение почвенной влаги и водопотребление растений. – М.: Изд-во МГУ, 1979. – 348 с.

5. Шеин Е.В., Гончаров В.М. Особенности гидрологического режима почвы в зонах технологической колеи // Почвоведение: вестник Московского университета. – 1991. – № 2. – С. 35-39.

6. Гончаров В.М., Тымбаев В.Г., Фаустова Е.В. Латеральная изменчивость агрофизического состояния комплексного почвенного покрова // Почвоведение. – 2008. – № 10. – С. 54-63.

References

1. Dmitriev E.A. K probleme neodnorodnosti pochv pochvennogo pokrova. Teoreticheskie i metodologicheskie problemy pochvovedeniya. – M.: GEOS, 2001. – S. 100-116.
2. Shein E.V., Umarova A.B., Kirdyashkin P.I., Samoilov O.A. Preimushchestvennye potoki vlagi v strukturnykh suglinistykh pochvakh. Proc. Int. Conf. Soil Science – Base for Sustainable Agriculture and Environment Protection. – Sofia, Bulgaria. P"eblishSaiSet-Eko, Part 1, 2007. – P. 113-115.
3. Bening V.E., Goncharov V.M., Ispol'zovanie metodov matematicheskogo modelirovaniya dlya agrofizicheskoi otsenki pochvennogo pokrova // Vestnik Tverskogo gosuniversiteta, Ser. Prikladnaya matematika. – 2010. – № 9. – Вып. 1 (16). – С. 43-54.
4. Sudnitsyn I.I. Dvizhenie pochvennoi vlagi i vodopotreblenie rastenii. – M.: Izd-vo MGU, 1979. – 348 s.
5. Shein E.V., Goncharov V.M. Osobennosti gidrologicheskogo rezhima pochvy v zonakh tekhnologicheskoi kolei // Vestnik Moskovskogo universiteta, Ser. 17. Pochvovedenie. – 1991. – № 2. S. 35-39.
6. Goncharov V.M., Tymbaev V.G., Faustova E.V. Lateral'naya izmenchivost' agrofizicheskogo sostoyaniya kompleksnogo pochvennogo pokrova // Pochvovedenie. – 2008. – № 10. – С. 54-63.



УДК 631.445.4631.43571.15

С.В. Макарычев, И.А. Бицошвили, Л.В. Лебедева
S.V. Makarychev, I.A. Bitsoshvili, L.V. Lebedeva

ТЕПЛОФИЗИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ГЕНЕТИЧЕСКИХ ГОРИЗОНТОВ ЧЕРНОЗЕМОВ ВЫЩЕЛОЧЕННЫХ (НА ПРИМЕРЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО УЧАСТКА НИИСС ИМ. М.А. ЛИСАВЕНКО)

THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF GENETIC HORIZONS OF LEACHED CHERNOZEMS (CASE STUDY OF A PRODUCTION PLOT OF LISAVENKO RESEARCH INSTITUTE OF GARDENING IN SIBERIA)

Ключевые слова: влажность, гидрологические константы, теплоемкость, теплопроводность, температуропроводность.

Keywords: moisture content, hydrologic constants, specific thermal capacity, heat conductivity, temperature diffusivity.