

ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ВАРИАБЕЛЬНОСТЬ ВОДНО-ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТЕМНО-СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ В УСЛОВИЯХ ПРЕДСАЛАИРЬЯ

Шапорина Н.А., Чичулин А.В., Чумбаев А.С.

ФГБУН «Институт почвоведения и агрохимии» Сибирского отделения Российской академии наук,
Новосибирск, e-mail: shaporina49@mail.ru

Представлены исследования, целью которых являлось изучение пространственной вариабельности плотности и влажности серых лесных почв Предсалаирья. Установлено, что плотность пахотного слоя почв экспериментальных площадок варьирует в достаточно широких пределах от 0,9 до 1,31 г/см³, при среднем показателе 1,04 г/см³, коэффициент вариации 9,2%. Сравнение выборок данных по плотности по горизонтам показало, что вниз по профилю происходит уменьшение дисперсии и снижение коэффициента вариации с 7 до 2% по мере увеличения средних с 1,18 до 1,42 г/см³. Вариабельность влажности в опыте носила более сложный характер, поскольку зависела от погодных условий. В результате проведенных исследований установлено, что на распределение влажности и плотности в пахотном слое оказывает влияние микрорельеф участка. Распределение свойств с глубины 30 см определяется уже морфологическими особенностями профиля. С помощью автономного регистратора влажности изучены зависимости диэлектрической проницаемости от влажности и плотности почв и подобраны аппроксимирующие их математические модели, что показало возможность использования датчиков данного прибора в качестве мобильных щупов при изучении пространственной вариабельности влажности почв.

Ключевые слова: вариабельность, плотность, влажность, дисперсия, коэффициент вариации

SPATIAL VARIABILITY OF WATER-PHYSICAL PROPERTIES OF DARK GRAY FOREST SOIL IN THE CONDITIONS PEDALEIRA

Shaporina N.A., Chichulin A.V., Chumbaev A.S.

*Institute of Soil science and Agrochemistry of the Siberian branch of the Russian Academy of Sciences,
Novosibirsk, e-mail: shaporina49@mail.ru*

The article presents the studies aimed at studying the spatial variability of density and humidity of gray forest soils of pre-Salair. It was found that the density of the arable soil layer of the experimental sites varies within a fairly wide range from 0.9 to 1.31 g/cm³, with an average of 1.04 g/cm³, the coefficient of variation of 9.2%. Comparison of samples of data on density across the horizons showed that down the profile there is a decrease in dispersion and a decrease in the coefficient of variation from 7 to 2% as the average increases from 1.18 to 1.42 g/cm³. The variability of humidity in the experiment was more complex, because it depended on weather conditions. As a result of the research it was found that the distribution of moisture and density in the arable layer is influenced by the microrelief of the site. The distribution of properties from a depth of 30 cm is determined by the morphological features of the profile. With the help of an Autonomous humidity recorder, the dependence of the dielectric permeability on soil moisture and density was studied and approximating mathematical models were selected, which showed the possibility of using the sensors of this device as mobile probes in the study of the spatial variability of soil moisture.

Keyword: variability, density, moisture, dispersion, coefficient of variation

Одной из фундаментальных и неотъемлемых характеристик почв является ее вариабельность и вариабельность ее свойств, как в пространстве, так и во времени. Проблема пространственной вариабельности почвенных свойств до недавнего времени представляла лишь теоретический интерес, так как, с одной стороны, ее изучение требовало слишком больших затрат, связанных с получением первичной информации, а с другой – не существовало практической потребности в подобной информации. Однако сегодня ситуация изменилась – возникло новое направление в развитии агротехнологий – «точное земледелие», обязанное своим появлением внедрением в сельскохозяйственное производство новейших достижений вычислительной техники, информационных систем.

Возможность обработки данных по природным объектам с пространственно распределенными характеристиками обеспечивает количественное описание пространственной изменчивости почвы, повышает точность оценок почвенных свойств, а также служит основой для планирования рационального отбора почвенных проб [1].

Водно-физические свойства почв, в частности плотность и влажность – одни из важнейших физических характеристик почвы, которые обуславливают водный и воздушный режимы, как прямо, так и косвенно влияя на почвенное плодородие. Кроме того, это весьма динамические показатели. Их изменчивость в пространстве обусловлена целым комплексом факторов, изучение которых определило актуальность

представленных исследований в конкретных условиях Предсалаирья, где подобного рода исследований не проводилось.

Результаты исследований могут быть реализованы при разработке современных агротехнологий, ориентированных на использование принципов ландшафтного и точного земледелия, а также при решении важных практических задач в области агрофизики, мелиорации, экологии [2].

Целью исследований явилось изучение и оценка пространственной изменчивости плотности и влажности серых лесных почв Предсалаирья.

Материалы и методы исследования

Исследования проводились в пределах Новосибирского Предсалаирья, расположенного в лесостепной зоне, на территории Буготакского мелко-сопочника, являющегося частью Предсалаирской денудационно-аккумулятивной равнины. В качестве объекта исследований послужила темно-серая лесная почва, на долю которой в Предсалаирье приходится около 40% площади. По гранулометрическому составу – это средний суглинок иловато-крупнопылеватый, характеризуется удовлетворительной микро- и плохой макрооструктуренностью. Особенности состава порозности обуславливают повышенную влагоемкость темно-серой почвы. В метровом слое она способна удерживать около 300 мм влаги.

Две экспериментальные площадки на темно-серых почвах, размерами 5x5 м и 1x1 м, были заложены на территории Усть-Каменского противозерозионного стационара Института почвоведения и агрохимии СО РАН. Площадки заложены в краевой части ранее распахиваемого участка, но к настоящему времени находящегося в залежном состоянии более 15 лет. На площадке 5x5 м параметры (плотность и влажность) определялись только для пахотного горизонта, на площадке 1x1 м – по горизонтам до глубины 80 см. Для установления содержания влаги в почвах использовался термостатно-весовой метод. Параллельно с традиционными методами определения влажности использовался измерительный комплекс «Decagon», состоящий из регистратора данных Em50, датчиков ЕС-5 и программного обеспечения. Как оказалось, в использовании прибора существует методическая проблема, требующая решения и состоящая в том, что разработчиками предусмотрена возможность исключительно стационарного использования датчиков – для изучения динамики влажности в заданной точке почвенного профиля. Мобильный вариант применения датчиков ЕС-5, например – для изучения пространственной variability почвенных свойств, разработчиками вообще не рассматривался. Вопрос этот, однако, является принципиальным и в более общей формулировке сводится, по существу, к выяснению возможности использования не только относительных, но и абсолютных значений показаний датчика для измерения влажности почв.

Плотность определялась буровым методом с использованием бура Качинского объемом 100 см³. Всего в полевых условиях было произведено 250 определений плотности и влажности и более 600 замеров показаний датчиков ЕС-5 измерительного комплекса «Decagon». Кроме того, более 1000 показаний датчи-

ков ЕС-5 получены в условиях лабораторного опыта с контролируемыми условиями по плотности и влажности. Для сравнения при расчете статистических параметров использовались данные по плотности и влажности, полученные в условиях сельскохозяйственного поля в 2016 г.

Результаты исследования и их обсуждение

Исследованиями установлено, что плотность пахотного горизонта в пределах экспериментальных площадок варьирует в достаточно широких пределах от 0,9 до 1,31 г/см³, при среднем показателе 1,04 г/см³. Интервал варьирования составляет 0,32 г/см³, коэффициент вариации 9,2%. Результаты исследования пространственного распределения плотности на площадках 5x5 и 1x1 м представлены в виде топоизоплант (рис. 1 и 2), по которым установлен характер распределения плотности, выявлены участки концентрации значений, а также сделаны предварительные выводы о причинах такого варьирования свойств в опыте. Обращает на себя внимание более плотная правая половина площадки 5x5 м, что предположительно антропогенного происхождения и связано с историей использования данной части поля. Сравнение выборок по горизонтам (площадка 1x1 м) показало: абсолютные значения плотности колеблются от 1,02 г/см³ в пахотном горизонте до 1,5 г/см³ в нижележащих горизонтах. Вниз по профилю происходит уменьшение дисперсии и снижение коэффициента вариации с 7 до 2% по мере увеличения средних с 1,18 до 1,42 г/см³. Среднестатистические показатели плотности слоя, лежащего под пахотным, оказались несколько ниже верхнего: 1,13 против 1,18 г/см³ (рис. 2). Здесь сыграло свою роль наличие большого количества кротовин в данном слое.

Оценивая степень variability плотности в наших исследованиях, сошлемся на выводы Е.А. Дмитриева [3], который утверждает, что при определении плотности почвы буриком объемом 100 см³ коэффициенты вариации редко превышают 10%, а значение $v = 1-3\%$ представляет собой вполне обычную величину, которую низкой считать нет особых оснований. Исходя из этого, variability плотности экспериментальных площадок следует считать довольно высокой, при этом оптимальные значения плотности в пахотном горизонте (1–1,2 г/см³) преобладают.

Вариability влажности в опыте, особенно в пахотном горизонте, носила более сложный характер, поскольку зависела от погодных условий. Характер распределения влажности представлен на рис. 3, где четко видны колебания влажности до и после дождя.

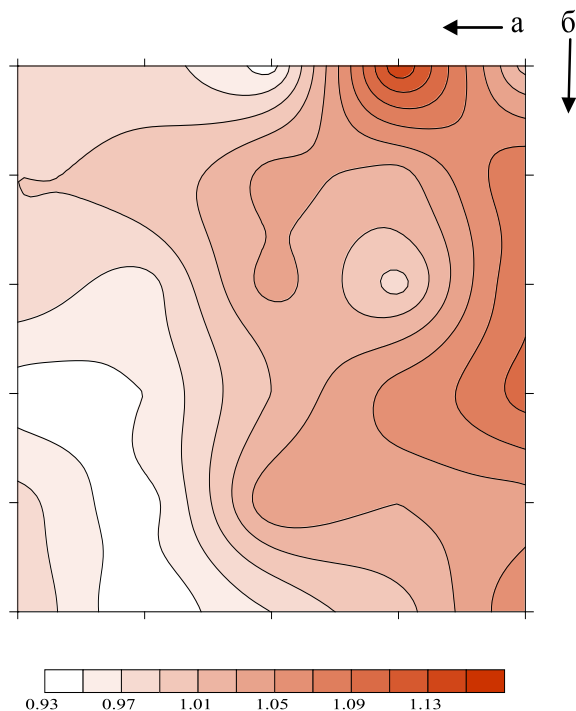


Рис. 1. Топоизоплеты плотности слоя 5–15 см экспериментальной площадки 5x5 м; —→ направление уклонов площадки, а – превышение 19 см; б – превышение 7 см (Темно-серая лесная почва, июнь 2017 г.)

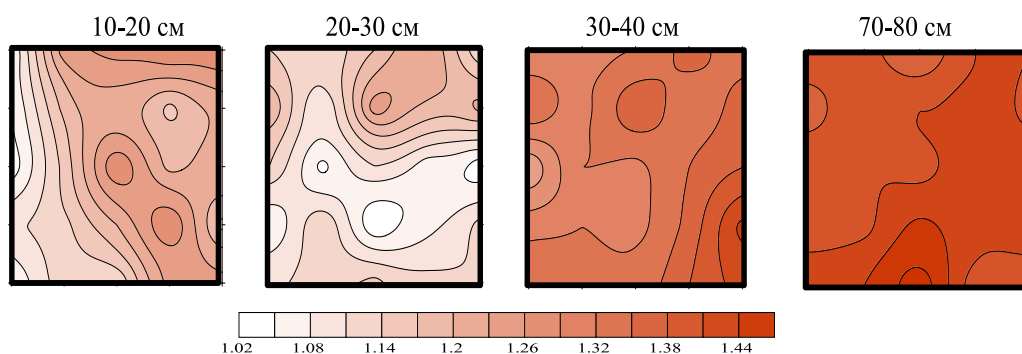


Рис. 2. Топоизоплеты плотности по слоям экспериментальной площадки 1x1 м (Темно-серая лесная почва, июнь 2017 г.)

Общий уровень увлажнения был достаточно высок и находился в пределах ВРК–НВ. Колебания средних показателей влажности составили от 24,5% до дождя до 33% после дождя (таблица).

Основными показателями, характеризующими степень однородности участков, считаются дисперсия и коэффициент вариации. Их можно использовать в качестве первого приближения для разделения участков на однородные и неоднородные в отношении того или иного свойства. В таблице представлены статистические показатели увлажнения – до дождя, сразу после

дождя, через сутки после выпадения осадков и в среднем за три периода. До дождя коэффициент вариации составлял 7%. Сразу после дождя распределение влажности становится более выровненным и коэффициент вариации снижается до 5%. Далее в период без осадков он снова поднимается до 7,7%, что свидетельствует о неравномерности просыхания верхнего слоя почвы. Началось просыхание в первую очередь с верхней части площадки из-за уклонов поверхности (рис. 3), что подтверждает выводы о влиянии микрорельефа на изменчивость почвенных свойств, сделанные в ряде

исследований. Так, в работе А.П. Сорокина [4] выявлены корреляционные зависимости между почвенными свойствами и рельефом. Корреляционный анализ показал хорошую зависимость для влажности слоя 0–10 см ($K_{кор} 0,54$). Нами ранее также был проведен анализ зависимости увлажнения профиля от микрорельефа в Приобье на орошаемых черноземах. $K_{кор}$ составил 0,49. Таким образом, с учетом временного колебания показателей влажности дисперсия в целом по участку составила 15,2, а коэффициент вариации – 13,8%.

Показания датчиков прибора варьировали в значительно более широких пределах, хотя общие тенденции, связанные с погодными условиями сохранились (таблица, рис. 3). Согласно технической документации, заводская градуировка приборов с высокой степенью точности может рассматриваться как «универсальная», т.е. – зависящая только от влажности почвы. Однако диэлектрическая постоянная, которую и измеряют датчики прибора зависит не только от влагосодержания почвы но также и от ее плотности, температуры, структуры, что требует специального исследования, постановки лабораторных и полевых опытов.

В наших исследованиях в лабораторных и полевых опытах были изучены зависимости диэлектрической проницаемости от влажности и плотности и подобран ряд аппроксимирующих их математических моделей, что показало возможность использования датчиков в качестве мобильных щупов при изучении пространственной вариабельности влажности почв. Выбор конкретной модели (градуировки) датчика следует проводить в зависимости от решаемой задачи.

В относительно сухой период средние показания прибора составляли 19,3%, после дождя возросли до 25,4%. При этом после дождя почти в два раза вырос интервал варьирования – 16,8% против 9,8%, увеличилась дисперсия до 26,2% против 5,2%, а коэффициент вариации возрос до 26,2% против 11% до дождя (таблица). Погоризонтная влажность по показаниям датчиков прибора различалась незначительно – средние показатели 30–39%. Однако интервал варьирования, в отличие от термостатно-весового метода, значительно выше – 15–16%. Также значительно выше дисперсия, которая закономерно уменьшается вниз по профилю от 13,7 до 7,8, и коэффициент вариации снижается по профилю от 12,3 до 7,1%.

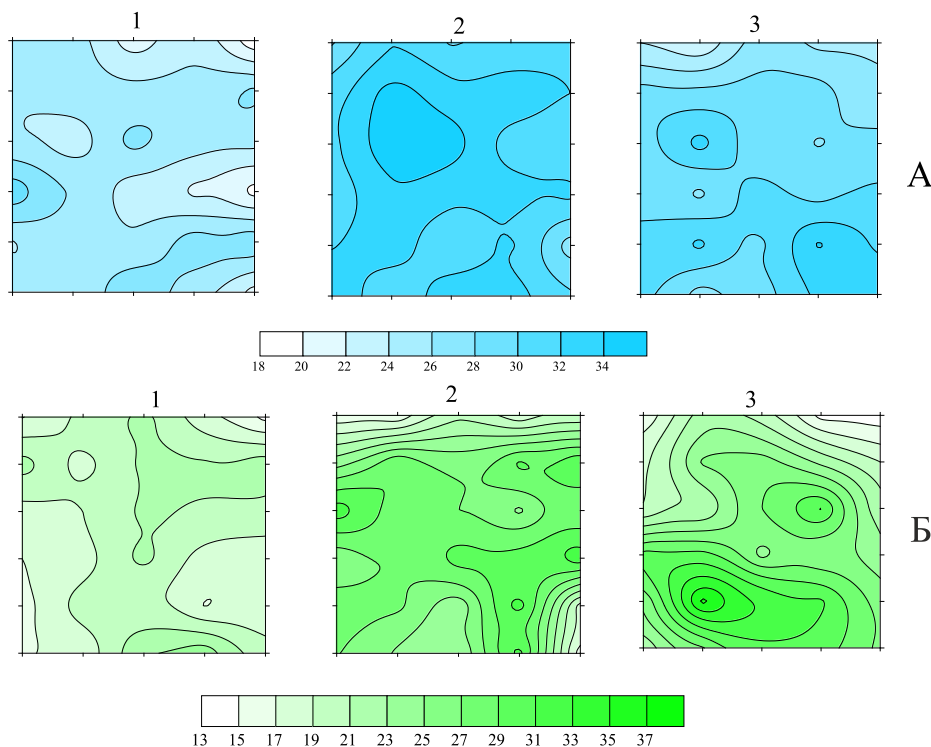


Рис. 3. Распределение влажности в % от объема в пахотном горизонте экспериментальной площадки 5x5 м; А – термостатно-весовым методом, Б – по показаниям датчиков прибора; 1 – до дождя; 2 – сразу после дождя; 3 – через сутки после дождя

Статистические показатели увлажнения пахотного горизонта экспериментальной площадки 25 м² в зависимости от погодных условий

	До дождя	Сразу после дождя	Через сутки после дождя	В среднем по трем периодам
Средние	$\frac{24,5^*}{19,3}$	$\frac{33,2}{25,4}$	$\frac{28,2}{24,6}$	$\frac{28,2}{23,1}$
Мин.	$\frac{19,5}{14,4}$	$\frac{29,0}{15,4}$	$\frac{23,0}{13,9}$	$\frac{19,5}{13,9}$
Макс.	$\frac{27,5}{24,2}$	$\frac{36,7}{32,2}$	$\frac{31,7}{37,6}$	$\frac{36,7}{37,6}$
Интервал варьирования	$\frac{8,0}{9,8}$	$\frac{7,7}{16,8}$	$\frac{8,7}{13,7}$	$\frac{17,2}{23,7}$
Дисперсия	$\frac{3,03}{5,2}$	$\frac{3,13}{26,2}$	$\frac{4,75}{31,9}$	$\frac{15,2}{28,1}$
Коэф.вариации, %	$\frac{7,1}{11,8}$	$\frac{5,2}{26,2}$	$\frac{7,7}{23,0}$	$\frac{13,8}{22,9}$

Примечание. * в числителе влажность, определяемая термостатно-весовым методом, в знаменателе – по показаниям измерительного комплекса «Decagon».

Важным практическим выходом изучения вариабельности свойств является планирование объемов единичных выборок. Грамотно спланированным объемом можно считать такой, когда число повторностей достаточно для получения ответа с требуемой точностью и надежностью. Ставить задачу абсолютно точного планирования объемов выборок бессмысленно, но это совсем не значит, что планирование объемов вообще лишено какого-либо смысла, хотя бы потому, что объем выборки является одним из важнейших, а нередко единственным фактором, определяющим точность оценок и надежность выводов [3].

Используя расчеты, предложенные Е.А. Дмитриевым [3], нами было установлено, что объем выборки, способный обеспечить требуемую точность по плотности ($P_{0,05} = 5\%$), составляет для данной экспериментальной площадки 16 образцов. По влажности площадка более выровнена: при том или ином характере погоды необходимый объем выборки составит от 7 до 12.

Обобщая литературные данные о варьировании почвенных свойств, В.П. Самсонова [5] показывает, что одни и те же свойства в зависимости от способа опробования могут иметь различные коэффициенты вариации, а распределения могут аппроксимироваться разными статистическими законами. Варьирование будет также зависеть от площади опробования: при увеличении площади опробования коэффициент вариации возрастает [5]. В нашем опыте коэффициент вариации плотности пахотного горизонта площадки 1x1 м составил 7%, а площадки 5x5 м – 9,2%. В 2016 г. нами определялась

плотность и влажность на части сельскохозяйственного поля, представляющего собой комплекс черноземов и серых лесных почв. Влажность определялась в динамике в течение вегетационного периода. Мы использовали эти данные для сравнения. Так, по плотности средние показатели в поле выше (1,19 г/см³ против 1,04). Размах колебаний различается незначительно (0,38 и 0,43 г/см³ соответственно), а коэффициент вариации выше, чем на площадке 5x5 м – 10,9% против 9,2%. Все показатели варьирования влажности также были выше в условиях части сельскохозяйственного поля. В относительно сухой период пространственная изменчивость в поле составляла 13,5% (площадка – 7,1%). При выпадении осадков показатели снижались, но различие по-прежнему оставалось (12,9 и 5,2% соответственно). С учетом временного фактора вариабельность влажности в поле возросла до 29,4%, что почти в 2 раза выше, чем на площадке. Это объясняется тем, что временной диапазон в поле был значительно шире.

Заключение

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что пространственная вариабельность плотности темно-серой лесной почвы в пределах экспериментальных площадок достаточно высокая и колеблется от 7 до 9,2% в зависимости от площади опробования. Объемы выборки при таком уровне вариации должны составлять от 10 до 16 образцов. В условиях части сельскохозяйственного поля коэффициент вариации еще выше – 10,9%. Вариабельность влажности пло-

щадки сильно колебалась в зависимости от погодных условий от 8% в относительно сухой период до 4% сразу после выпадения осадков. При расширении временного диапазона наблюдений в условиях части сельскохозяйственного поля она увеличилась до 29,4%.

Использование измерительного комплекса «Decagon» с датчиками влажности ЕС-5 показало реальную возможность мобильного использования данного прибора при изучении пространственной variability. Для этих целей подобраны ряд математических моделей градуировки датчиков.

Список литературы

1. Сидорова В.А. Геостатистический анализ пространственной неоднородности сельскохозяйственных полей для целей точного земледелия: автореф. дис. ... канд. с/х наук. Петрозаводск, 2011. 26 с.
2. Гончаров В.М. Агрофизическая характеристика почв в комплексном почвенном покрове: автореф. дис. ... докт. биол. наук. Москва, 2010. 44 с.
3. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении: учебник. М.: Изд-во МГУ, 1995. 320 с.
4. Сорокин А.П. Особенности пространственной variability почвенных свойств в ландшафтах дельты Волги: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Астрахань, 2009. 21 с.
5. Самсонова В.П. Пространственная изменчивость почвенных свойств: На примере дерново-подзолистых почв. М.: Издательство ЛКИ, 2008. 160 с.