

УДК 502/504:631.4

М. В. КЛИМАХИНА, А. В. ЕВГРАФОВРоссийский государственный аграрный университет –
Московская сельскохозяйственная академия имени К. А. Тимирязева**МОДЕЛИРОВАНИЕ СЕЗОННОГО ИЗМЕНЕНИЯ
ПЛОТНОСТИ ПОЧВ В НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЕ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ***На основании результатов экспериментальных исследований разработана математическая модель сезонного изменения плотности почв склоновых земель Нечерноземной зоны с учетом рельефа местности. Установлена связь между изменением климатических условий и плотностью почв.**Водно-физические свойства почв, изменение климата, крутизна склона, сезонные изменения плотности почвы, математическое моделирование, орошение.**On the basis of the results of experimental researches a mathematical model of the seasonable change of the soil density of slope lands of the Nechernozem area was developed taking the relief of the area into account. The connection between the change of climatic conditions and soils density was established.**Water-physical properties of soils, change of the climate, slope steepness, seasonable changes of soil density, mathematical simulation, irrigation.*

Изменение климатических условий Нечерноземной зоны в сторону потепления приводит к уплотнению пахотного горизонта почвы. Это происходит в силу следующих причин:

увеличения температур зимних месяцев;

неглубокого и недлительного промерзания почвы или полного его отсутствия;

увеличения температур воздуха теплого периода;

неравномерного распределения осадков в теплый период года.

Под влиянием перечисленных причин в почве развиваются сезонные процессы, приводящие к значительному увеличению плотности ее сложения.

Исследования проводились в учхозе «Михайловское» Подольского района Московской области в 2001–2003 годах. В 1980 году был заложен стационарный полевой опыт. На поле развернут пятипольный севооборот: овес; ячмень с подсевом многолетних трав; многолетние травы первого года пользования; многолетние травы второго года пользования; озимая пшеница.

Размещение вариантов было выполнено методом организованных повторений. Опытные участки располагались на склонах крутизной 4° и 8°, южной экспозиции, подверженных водной эрозии. Почвенный покров – дерново-подзолистые почвы среднесуглинистого гранулометрического состава, в основном слабо- и средне-смывтые. Химические свойства пахотного слоя дерново-подзолистой почвы: С – 1,1 %; N – 0,1 %; рН – 6; гидролитическая кислотность – около 2,5 мг-экв; сумма поглощенных оснований – 26,4 мг-экв; P₂O₅ – 16,5 мг; K₂O – 10,2 мг/100 г почвы. На опытном участке применены разноглубинные почвозащитные обработки (вспашка, щелевание, поверхностная) поперек склона для изучения их влияния на изменение агрофизических свойств дерново-подзолистых склоновых почв и водную эрозию.

Цель исследований – мониторинг за изменением агрофизических свойств почв в условиях изменения климата в сторону потепления в Нечерноземной зоне Российской Федерации.

В течение сезона происходят изменения в активном слое почвы под

влиянием естественных причин, что выражается существенным изменением плотности почвы во времени, а также под действием различных нагрузок (мелиоративные мероприятия, приемы обработки почвы, прохождение сельскохозяйственной техники, скота и др.).

Переуплотнение пахотных почв склоновых земель в результате потепления климата ухудшает структуру почвы – одного из основных факторов ее плодородия и, как следствие, водный, воздушный, тепловой и пищевой режимы. Наиболее интенсивные изменения плотности почвы развиваются в верхних слоях до 0,5 м.

Основные источники сезонного колебания поверхностных слоев почвы: колебания температуры, атмосферного давления, влажности; криогенные процессы.

Сезонные изменения плотности почвы в многолетнем разрезе носят

устойчивый характер как для участков крутизной 4°, так и участков крутизной 8°. Выявлена тенденция увеличения уплотнения почвы на склоне большей крутизны, что подтверждается проведенными исследованиями и данными ряда авторов [1].

При проведении экспериментальных исследований на неорошаемых землях и при сравнении полученных данных с данными на тех же участках, полученными в процессе орошения, выяснилось, что орошаемые склоновые земли имели меньшую плотность, чем неорошаемые. Орошение компенсирует недостаток влаги в почве, поэтому на фоне изменения климата в сторону потепления, которое в естественных условиях приводит к большему уплотнению почвы, поливы приводят к ее разуплотнению (табл. 1).

Таблица 1

Плотность почвы в годы исследований при орошении и без орошения

Склон	Плотность максимальная без орошения, г/см ³			Плотность максимальная с орошением, г/см ³ [4]		
	Год					
	2001	2002	2003	2001	2002	2003
4°	1,58	1,40	1,38	1,37	1,39	1,39
8°	1,63	1,42	1,49	1,39	1,40	1,41

Так, Г. А. Ларионов связывает сезонные изменения плотности почвы с изменениями ее влажности, когда в почве происходят процессы набухания и усадки. Синхронность и амплитуда колебаний влажности и плотности почвы нарушается в теплые периоды.

Основным источником энергии физико-химических процессов, происходящих в активном слое почвы, является лучистая энергия солнца, которая описывается уравнением радиационного баланса и сказывается на динамике теплового режима активного слоя [2].

По результатам исследований А. Н. Кабанова изменение плотности активного слоя тесно связано с изменениями температуры [2]. Температур-

ный режим является основным интегральным показателем всех теплофизических процессов, протекающих в почве, и описывается синусоидой:

$$t = t' + I_{\tau_0}(t'' - t')[1 + \sin(\omega\tau + \varphi_t)], \quad (1)$$

где t – температура активного слоя почвы в момент времени τ ; t'' , t' – максимальная и минимальная температура активного слоя почвы в данный год соответственно; I_{τ_0} – нормирующий множитель, определяющий среднегодовое значение температуры для слоя почвы; φ_t – начальная фаза колебаний температуры в данном слое.

Существует устойчивая связь между тепловым режимом и характером изменения гидротермических характеристик, приводящих к изменениям плотности почвенного покрова. Тепловой режим почвенного покрова в основном определяется климатом данного региона. При определении характера изменений внешних

тепловых воздействий, кроме установленной зависимости (1), позволяющей рассчитывать сезонную динамику температуры почвенного покрова во времени, следует учитывать тенденцию изменения климата в сторону потепления, наметившуюся в последние десятилетия.

Наибольшее уплотнение почвы наблюдается в вегетационный период и достигает максимума к концу вегетации, а уменьшение плотности характерно для холодного периода года, достигает минимума весной к началу вегетации.

Поскольку сезонные изменения плотности почвы тесно связаны с ее температурным режимом, а температура почвы зависит от календарного времени года, то можно проследить зависимость между календарными датами и изменением плотности почвы.

Для определения сезонных изменений плотности мелиорированных почв Н. Н. Дубенком получена математическая зависимость, позволяющая вычислить плотность почвы на любой момент времени в течение календарного года, располагая значением максимальной плотности, приходящейся на конец вегетационного периода, когда почва имеет максимальное уплотнение, находится в равновесном состоянии [3]:

$$\rho = \rho_{\max} \{0,964 + 0,036 \sin [360(272 - N)/365]\}, \quad (2)$$

где ρ_{\max} – максимальная плотность почвы; N – порядковый номер суток от начала года с учетом проблемы високосного года (для сельскохозяйственного моделирования год начинается 1 марта).

Порядковый номер суток определяют следующим образом [3]:

$$N_{\text{(целая часть)}} = (30,6 M + D - 91,3),$$

где M – месяц (если $M \leq 2$, то $M = M + 2$); D – сутки.

Приведенная зависимость (2) с допустимой точностью (расхождение с экспериментальными данными до 8 %) описывает изменения плотности почвы в течение календарного года.

По результатам проведенных исследований, а также по данным ряда авторов [1–3], величина плотности активного слоя почвы зависит от рельефа участка. Почвы, расположенные на более крутых склонах, уплотняются сильнее, что связано с усилением на них процессов разрушения и смыва активного слоя почвы. Поэтому целесообразно определять плотность почвы в течение календарного года с учетом крутизны склона по полученной авторами математической зависимости:

$$\rho = \rho_{\max} \left\{ 0,964 + 0,036 \sin \left(\frac{272 - N}{365} \right) 360 / k \right\}, \quad (3)$$

где k – коэффициент, учитывающий рельеф участка ($k = e^{tg \alpha}$); e – основание натурального логарифма; α – крутизна склона, град.

Плотность активного слоя почвы склоновых земель определяли по математической зависимости (3), в которой учтено влияние крутизны на изменение плотности почвы, модели Н. Н. Дубенка (2), затем полученные результаты сравнивали с экспериментальными исследованиями. Расчет проводили для теплого периода (март – октябрь) на склоне крутизной 4° , на фоне вспашки, так как наибольшая плотность была получена именно при этом способе обработки почвы (табл. 1...3). По полученным данным были построены графические зависимости изменения плотности почвы для склонов 4° на фоне орошения (рис. 1...3).

Из анализа полученных данных можно сделать вывод, что разработанная математическая модель (3) хорошо описывает процесс изменения плотности почвы (см. рис. 1...3). Процент расхождения с экспериментальными данными по годам для склона крутизной 4° составил: 1,52 % (2001 год); 1,5 % (2002 год); 2,28 % (2003 год); в среднем – 1,77 %.

Незначительное расхождение между эмпирической и эксперимен-

Таблица 2

**Изменение плотности активного слоя почвы при орошении, г/см³.
Склон 4°, $c_{\max} = 1,37 \text{ г/см}^3$ (2001 год)**

Используемая зависимость	1 марта	1 апреля	1 мая	1 июня	1 июля	1 августа	1 сентября	1 октября
Расчетная плотность	1,28	1,29	1,31	1,33	1,36	1,37	1,37	1,36
Плотность по модели Н. Н. Дубенка	1,27	1,28	1,30	1,32	1,35	1,37	1,37	1,36
Плотность (эксперимент)	1,28	1,29	1,30	1,33	1,36	1,37	1,36	1,36

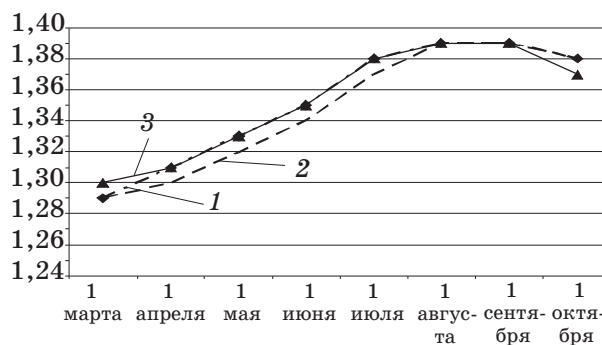
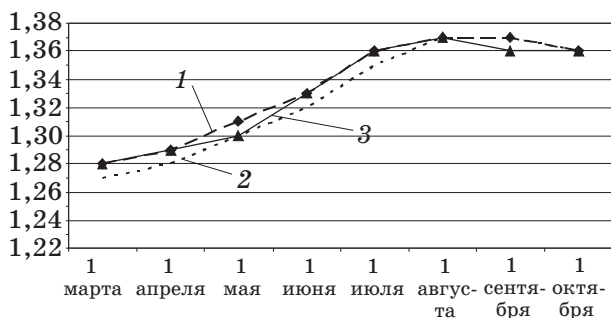


Рис. 1. Изменение плотности активного слоя почвы при орошении для склона 4° (2001 год): 1 – расчетная плотность; 2 – плотность по модели Н. Н. Дубенка; 3 – плотность (эксперимент)

Рис. 2. Изменение плотности активного слоя почвы при орошении для склона 4° (2002 год): 1 – расчетная плотность; 2 – плотность по модели Н. Н. Дубенка; 3 – плотность (эксперимент)

Таблица 3

**Изменение плотности активного слоя почвы при орошении, г/см³.
Склон 4°, $c_{\max} = 1,39 \text{ г/см}^3$ (2002 год)**

Используемая зависимость	1 марта	1 апреля	1 мая	1 июня	1 июля	1 августа	1 сентября	1 октября
Расчетная плотность	1,29	1,31	1,33	1,35	1,38	1,39	1,39	1,38
Плотность по модели Н. Н. Дубенка	1,29	1,30	1,32	1,34	1,37	1,39	1,39	1,38
Плотность (эксперимент)	1,30	1,31	1,33	1,35	1,38	1,39	1,39	1,37

Таблица 4

**Изменение плотности активного слоя почвы при орошении, г/см³.
Склон 4°, $c_{\max} = 1,39 \text{ г/см}^3$ (2003 год)**

Используемая зависимость	1 марта	1 апреля	1 мая	1 июня	1 июля	1 августа	1 сентября	1 октября
Расчетная плотность	1,29	1,31	1,33	1,35	1,38	1,39	1,39	1,38
Плотность по модели Н. Н. Дубенка	1,29	1,30	1,32	1,34	1,37	1,39	1,39	1,38
Плотность (эксперимент)	1,28	1,30	1,33	1,35	1,38	1,39	1,38	1,38

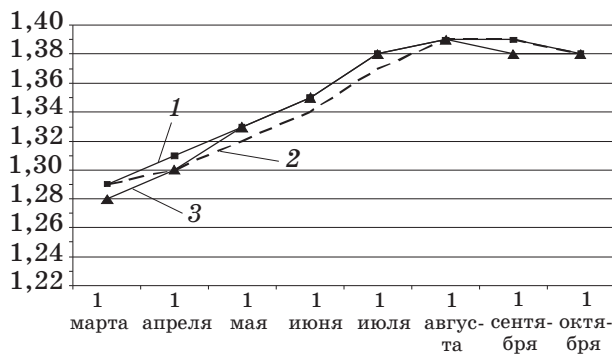


Рис. 3. Изменение плотности активного слоя почвы при орошении для склона 4° (2003 год): 1 – расчетная плотность; 2 – плотность по модели Н. Н. Дубенка; 3 – плотность (эксперимент)

тальной кривыми говорит о том, что полученную зависимость (3) можно использовать для определения изменения сезонной плотности почвы в практических целях при проведении прогнозных расчетов и математическом моделировании.

1. Белолубцев А. И. Регулирование защиты почв от эрозии в адаптивно-

ландшафтном земледелии Нечерноземной зоны РФ: автореф. ... д-ра. с.-х. наук. – М.: РГАУ – МСХА имени К.А.Тимирязева, 2007. – 47 с.

2. Кабанов А. Н. Учет пространственно-временных изменений водно-физических свойств почвенного покрова при моделировании процессов влагопереноса // Доклады ВАСХНИЛ. – 1981. – № 2. – С. 10–12.

3. Дубенок Н. Н. Ресурсосберегающие и ландшафтоулучшающие технологии орошения склоновых земель: монография. – М.: Агробизнесцентр, 2006. – 311 с.

4. Мацыганова Е. В. Экологическая и агрономическая эффективность орошения на склоновых землях Нечерноземья: автореф. ... канд. с.-х. наук. – М.: МСХА имени К.А. Тимирязева, 2004.

Материал поступил в редакцию 7.06.10.

Климахина Марина Владимировна, старший преподаватель

Тел. 8-903-593-98-98

Евграфов Анатолий Владимирович, кандидат технических наук, доцент

Тел. 8 (499) 976-40-25