

# АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА УПЛОТНЕНИЯ ПОЧВ

*О.Е. Ефимов, к.б.н., В.И. Савич, д.с.-х.н., РГАУ-МСХА им. К.А.Тимирязева  
В.В. Гукалов, к.с.-х.н., Северо-Кубанская с.-х. опытная станция,  
К.С. Бородина, РГАУ-МСХА им. К.А.Тимирязева  
тел. 8-905-501-14-46 E-mail: savich.mail@gmail.com  
E-mail: [chempion1985@yandex.ru](mailto:chempion1985@yandex.ru)  
[Kira.boroda@yandex.ru](mailto:Kira.boroda@yandex.ru)*

*Рассмотрено уплотнение почв под влиянием работы с.-х. машин, при дигрессии, осолонцевании, вытаптывании, развитии оглеения, оподзоливания. Считаем необходимым изучение процессов уплотнения нижних горизонтов почв под влиянием массы верхних слоев с 1,1 до 1,8 г/см<sup>3</sup>, при развитии полей динамических напряжений.*

*Показано изменение уплотнения почв в сезонной динамике и под отдельными древесными культурами. Установлено, что окультуривание дерново-подзолистых почв от ОК<sub>1</sub> к ОК<sub>3</sub> приводит к увеличению числа частиц > 0,25 мм от 46,7 до 51,5% на слабоокультуренной почве и от 58,9 до 61,6% на хорошо окультуренной. Внесение навоза на черноземах и заправка соломой при чередовании отвальных и безотвальных обработок привели к увеличению коэффициента структурности с 1,6 до 3,1.*

*Ключевые слова: почва, уплотнение, обработка почв, дигрессия.*

DOI: 10.25680/S19948603.2021.118.15

Избыточная плотность обусловлена влиянием на почву как ряда внешних факторов, так и антропогенным воздействием, развитием почвообразовательных процессов, протекающих в почвах, физико-химическими процессами. К основным факторам, вызывающим переуплотнение, относятся: замерзание, давление верхнего замерзающего слоя при наличии близкой к поверхности многолетней мерзлоты, поля динамических напряжений, обусловленных геологическими процессами, физико-химические процессы в почвах, в частности, осолонцевание, образование структуры, дигрессия и вытаптывание почв, давление сельскохозяйственной техники, верхних слоев почв на нижележащие горизонты, корней при развитии растений, слоя воды при орошении напуском и др.

Давление в почве определяет миграционные процессы, растворимость солей, состав воздушной среды, энергетическое состояние воды в почвах, особенности протекания в них процессов ионного обмена, комплексобразования, осадкообразования. Повышение плотности почв происходит локально во времени и в пространстве и с определенной скоростью изменяется.

Поля динамических напряжений действуют на величину и особенности других физических полей почв. Так, увеличение давления приводит в ряде пород к появлению пьезоэлектрического эффекта, появлению разности положительных и отрицательных зарядов почв, вызывает изменение миграции веществ и т.д. Поэтому необходима агроэкологическая оценка как полей динамических напряжений, так и локальных полей изменения давления в почве, обусловленных разными причинами.

**Методика.** Объекты исследования: дерново-подзолистые среднесуглинистые почвы Лесной опытной станции РГАУ-МСХА [5], опыты кафедры растениеводства в хозяйстве «Михайловское» Московской области [7], обыкновенные глинистые черноземы Краснодарского края [6].

Методика исследования состояла в оценке плотности почв, содержания подвижных форм тяжелых металлов, гумусового состояния почв, содержания подвижных форм элементов питания, структуры почв [1, 5, 7].

1. *Уплотнение почв сельскохозяйственными машинами.* Значительное уплотнение почв происходит под давлением прохода по полю сельскохозяйственных машин. Так, по данным [5, 6] плотность дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы в слоях 0-10 см равна 1,3 г/см<sup>3</sup>, 10-20 см – 1,4, 30-40 см – 1,5 г/см<sup>3</sup>. После 10-кратного прохода по полю трактора Т-150-К плотность увеличивается, соответственно, до 1,9; 1,95 и 1,8 г/см<sup>3</sup>, в большей степени в верхнем слое. Увеличение плотности почв зависело от прилагаемого сверху давления и продолжительности воздействия.

В то же время, ряд авторов отмечает увеличение плотности почв при возрастании скорости движения по полю сельскохозяйственных машин. Помимо сочетания физико-химических и водно-физических свойств почв, увеличение плотности зависит от влажности и температуры.

Масса пахотного слоя составляет в среднем 3 тыс. т. При этом верхние слои давят на нижние и последние становятся более плотными. Так, по полученным данным, в дерново-подзолистых среднесуглинистых почвах на покровных суглинках в горизонте А<sub>1</sub> плотность была под липняком – 0,84 г/см<sup>3</sup>, под березняком – 0,84, под сосняком – 0,99, под ельником – 1,0 г/см<sup>3</sup>; в горизонте А<sub>2</sub>В, соответственно, 1,48; 1,15; 1,36; 1,44 г/см<sup>3</sup>. В горизонте ВС под липняком – 1,71 г/см<sup>3</sup>, под березняком – 1,72, под сосняком – 1,54, под ельником – 1,54 г/см<sup>3</sup>.

Очевидно, что при изменении плотности почв изменяются энергетическое состояние воды в почвах, рСО<sub>2</sub>, растворимость солей, процессы ионного обмена. Однако эти вопросы практически не изучены.

2. *Дигрессия почв, как фактор их уплотнения.* Уплотнение почв вызывает значительные изменения их свойств. Так, по полученным данным, для дерново-подзолистых почв Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА уплотнение горизонта А<sub>1</sub> достигало 1,4 г/см<sup>3</sup>, а на тропинках – 2,0 г/см<sup>3</sup>. Избыточное уплотнение почв приводило к уменьшению биопродуктивности угодий и снижению выделения из почв диоксида углерода. Так, под дубом при плотности 1,0 и 1,3 г/см<sup>3</sup> выделение СО<sub>2</sub> из дерново-подзолистой почвы составляло, соответственно, 284,5 и 85,4 мг/(м<sup>2</sup>·ч), при плотности 0,9 и 1,4

г/см<sup>3</sup>, соответственно, 113,7 и 85,1; под сосной и березой при плотности 0,7 и 1,3 г/см<sup>3</sup> выделение CO<sub>2</sub> составляло, соответственно, 128,0 и 85,4 мг/(м<sup>2</sup>·ч).

Повышенные рекреационные нагрузки на почвы лесопаркового пояса приводят также к значительному уплотнению почв, уменьшению водопроницаемости, обеднению почв гумусом, азотом, к увеличению фульватности гумуса, уменьшению биологической активности почвенных растворов, их комплексобразующей способности, к увеличению подвижности тяжелых металлов, доли грибной микрофлоры.

По полученным данным, на слабоуплотненной тропинке дерново-подзолистой почвы содержание свинца в почвенном растворе составляло 0,05 мг/л, магния – 0,09, на сильно уплотненной, соответственно, 0,09 и 0,83 мг/л. Содержание подвижных форм тяжелых металлов в вытяжке CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> в дерново-подзолистых почвах скверов составляло: Zn – 6,5±1,4 мг/кг, Pb – 8,5±0,9, Cd – 0,5±0,1, а на селитебных участках Zn – 25,6±2,5, Pb – 14,6±1,6, Cd – 1,0±0,1 мг/кг.

Уплотнение почв приводит к ухудшению развития корней. Так, на дерново-подзолистой почве на водной вытяжке из сильно уплотненной почвы размер корней биотеста составлял 2,5±0,5 см, стеблей – 1,2±0,3, на слабоуплотненной, соответственно, 4,2±0,6 и 1,7±0,4 см.

Дигрессия почв под влиянием интенсивного выпаса овец приводила к уменьшению в почве доли гуминовых кислот, увеличению содержания подвижных форм тяжелых металлов, уменьшению фитомассы. Величина Сгк/Сфк (У) изменялась в соответствии со следующей зависимостью:

$Y = 0,28 + 0,12X^{-2}$ ;  $r = -0,99$ , где X – интенсивность выпаса. Содержание подвижных форм Pb изменялось от 6,0 до 7,2 мг/кг, Cd – от 0,09 до 0,16, Co – от 2,3 до 2,9 мг/кг. Общая фитомасса варьировала весной от 48,6 до 37,4 ц/га, осенью – от 64,1 до 42,2 ц/га.

Плотность почв изменяет их микробиологическую активность. По полученным данным, уплотнение дерново-подзолистых почв ЛОД ТСХА от 1,1-1,4 до 1,7-2,0 г/см<sup>3</sup> привело к снижению в 2-4 раза микробиологической активности, увеличению грибной микрофлоры, содержания водорастворимого свинца [5]. Рассматриваемые процессы изменялись в сезонной динамике.

На Лесной опытной даче РГАУ-МСХА для участков с повышенной антропогенной нагрузкой в слое 0-3 см плотность в мае, июле и сентябре составляла, соответственно, 1,03±0,08; 1,51±0,07 и 1,20±0,07 г/см<sup>3</sup>, увеличиваясь при уменьшении влажности от 21,9±1,64 до 18,2±1,44 и 18,7±1,54%. Для слоя 7-11 см показатели плотности в мае, июле и сентябре были равны, соответственно, 1,00; 1,04 и 1,50% при уменьшении влажности за этот период с 18 до 11%. Развитие уплотнения зависит от сочетания свойств почв и их минералогического состава.

Показано, что режим попеременного увлажнения – иссушения при температуре 18-20<sup>0</sup>С является важным фактором в развитии слитости в пахотном горизонте чернозема. Она усиливалась с утяжелением гранулометрического состава и при увеличении в минералогическом составе доли смектитов (от 3-19 до 40%).

3. Влияние системы удобрения на интенсивность развития уплотнения почв. Внесение удобрений существенно изменяет плотность почв за счет диспергирования (K, Na), оструктурирования (Ca, Mg), при развитии оглеения, усилении дернового процесса почвообразо-

вания или оподзоливания. При увеличении оструктурированности и доли гуминовых кислот происходит уменьшение плотности почв. При увеличении в ППК доли калия свыше 10% происходит диспергирование почв и увеличение их плотности. Так, по данным [1], в дерново-подзолистых почвах на контроле и на делянках с тройными дозами NPK содержание гумуса составляло 1,2-1,7%, водопрочных агрегатов – 17-16%, коэффициент структурности был, соответственно, 1,2 и 2,3, плотность – 1,4 и 1,5 г/см<sup>3</sup>. В вариантах с навозом и полуторной дозой NPK + навоз содержание гумуса равно 1,7-2,1%, водопрочных агрегатов – 26-39%, коэффициент структурности, соответственно, 3,2 и 3,4, плотность сложения – 1,4 и 1,3 г/см<sup>3</sup>.

Величина плотности почв изменялась в сезонной динамике, увеличиваясь после вспашки через 10-15 дней от 1,1 до 1,3-1,4 г/см<sup>3</sup>. Уплотнение почв существенно изменялось до глубины 50-60 см и только в вариантах с высоким дозами NPK – до 70 см.

4. Влияние на развитие уплотнения почв систем обработки. Развитие переуплотнения почв в значительной степени зависит от применяемых систем обработки почв. Так, по полученным данным, на обыкновенных малогумусных тяжелосуглинистых черноземах плотность почв и коэффициент структурности (КС) составляли в 5-й ротации севооборотов при ежегодной отвальной разноглубинной вспашке, соответственно 1,22 г/см<sup>3</sup> и КС = 1,98, при дополнительном внесении 40 т/га навоза 2 раза за ротацию севооборотов – 1,7 г/см<sup>3</sup> и КС = 2,45; при ежегодном чередовании отвальных и безотвальных обработок ОВ = 1,23 г/см<sup>3</sup>, КС = 1,6.

Показано [2], что при увеличении скорости обработки почв МТА с 4 до 7 км/ч значительно возрастало тяговое сопротивление – на 3-9% и увеличивалась плотность почв. Установлено, что на дерново-подзолистых почвах минимальная обработка способствовала дифференциации пахотного слоя по плодородию и концентрации питательных элементов в верхнем (0-10 см) слое почвы. Отвальная и глубокая комбинированная системы способствовали более равномерному распространению питательных веществ по почвенному профилю.

5. Энергетическая оценка процессов переуплотнения почв. Полагаем, что необходима энергетическая и информационная оценка полей динамических напряжений в почве. Давление в почве изменяется в разных её горизонтах, в мезо- и микрозонах, в педах и кутанах, в катене, по профилю почв. Оно коррелирует с воздушным режимом почв, развитием микрофлоры, образованием гумуса, с содержанием CO<sub>2</sub>, pH, Eh, а, следовательно, с содержанием подвижных форм Fe<sup>2+</sup>, Fe<sup>3+</sup>, с цветовой гаммой почв и характеризуется рядом энергетических показателей. В то же время, варьирование давления в почве определяет состояние микрофлоры, физико-химические процессы, протекающие в почвах. Процессы, определяемые полями динамических напряжений, в геологическом и почвенном контекстах характеризуются накоплением и потерей энергии, ее передачей, трансформацией.

Поля динамических напряжений между замёрзшим верхним слоем и слоем многолетней мерзлоты приводят к солифлюкции, тиксотропии, выпучиванию, кермообразованию. По полученным данным, тиксотропная мерзлотно-таежная почва, по сравнению с петиксотропной, характеризовалась большей прочностью связи воды с твердой фазой, что соответствовало гидротер-

мическому эффекту при более высокой температуре и большей энергии активации реакции дегидратации, увеличивающейся с 46,4 до 53,8 кДж/моль.

6. *Способы оптимизации обстановки при переуплотнении почв.* Оптимизация обстановки при переуплотнении почв достигается внесением в обособленных дозах органических удобрений, структурообразователей, окультуриванием почв, их рыхлением. По данным [3], осеннее безотвальное глубокое рыхление приводит к большему разуплотнению почв, чем весеннее. При исходной плотности в течение 7 лет  $1,36 \pm 0,02$  г/см<sup>3</sup> при осеннем разуплотнении плотность была равна  $1,19 \pm 0,01$ , при весеннем она была выше в связи с накоплением в поровом пространстве воды и ее замерзанием. Однако это не проявлялось в условиях теплой зимы.

Оптимизация свойств почв при развитии их переуплотнения достигается введением севооборотов, оптимизацией систем обработки, интегрированной защиты растений, применения удобрений. При этом необходима оптимизация свойств почв, микрофлоры, развития растений во взаимосвязи их потребностей. Возможна оптимизация временная и длительная, в А<sub>п</sub> и в профиле почв, локальная и в пределах поля и т.д.

В таблице 1 приведены данные о влиянии обработки почв на содержание в них гумуса и коэффициент структурного состояния, содержание подвижных форм биогенных элементов.

**1. Влияние систем обработки обыкновенного чернозема на плотность почв, содержание в них гумуса и подвижных форм NPK**

Урожай, ц/га	Гумус, %	ОВ, г/см <sup>3</sup>	N- NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	КС
МГ/КГ						
<i>Чередование отвальных и безотвальных обработок</i>						
4,4	3,9	1,22	13,3	47,2	400	1,6
<i>Чередование отвальной и безотвальной обработки + 2 раза за ротацию внесение навоза и заплата соломы</i>						
5,8	4,6	1,17	14,1	49,0	474	3,1

Как видно из представленных данных, применение чередования отвальных и безотвальных обработок в сочетании с внесением навоза и заплата соломы привело к увеличению в почвах гумуса, содержания подвижных форм биогенных элементов, к улучшению оструктуренности почв. Улучшение структуры почв происходило и при их окультуривании. Это иллюстрируют данные таблицы 2.

Как видно из представленных данных, в наименьшей степени окультуривание почв вызывали пожнивных остатки картофеля.

Более ярко это проявляется при оценке в почвах содержания агрегатов > 3 мм. Так, в слабоокультуренной почве варианта ОК<sub>1</sub> содержание таких агрегатов на контроле было 0,11%, при внесении пожнивных остат-

ков пшеницы 5,99, ячменя – 9,39, картофеля – 1,17%. В хорошо окультуренной почве при внесении удобрений на контроле – 26,0%, при внесении пожнивных остатков пшеницы – 44,5, ячменя – 16,7, картофеля – 2,2%.

**2. Изменение в дерново-подзолистых почвах агрегатов > 0,25 мм при компостировании почв с послеуборочными остатками растений, %**

Вариант	Контроль	При внесении органических остатков, 3 т/100 т		
		пшеницы	ячменя	картофеля
ОК <sub>1</sub>	40,7	51,5	49,6	44,2
ОК <sub>2-1</sub>	52,1	53,9	85,9	55,4
ОК <sub>3-2</sub>	58,9	61,6	62,3	61,3

Почвы под влиянием движения сельскохозяйственных машин, дигрессии, осолонцевания, промораживания, действия полей динамических напряжений, за счет массы вышележащих горизонтов уплотняются. Это сопровождается изменением: водно-физических, физико-механических свойств почв, их микробиологической активности, состава газовой фазы, энергетических параметров почвенных растворов. Неисследованными остаются вопросы влияния на свойства нижележащих горизонтов почв верхних слоев, а также влияния на генезис и плодородие почв полей динамических напряжений.

Временная оптимизация обстановки при переуплотнении почв достигается рыхлением, окультуриванием почв, внесением органических удобрений, посевом многолетних трав, внесением в почву структурообразователей. Однако эффект влияния этих мероприятий на оструктуривание почв и их плотность зависит от минералогического состава почв, сочетания их свойств, расположения по рельефу, гидротермических условий территории, что в настоящее время исследовано недостаточно.

#### Литература

1. Байбеков Р.Ф. Плотность почвы на фоне длительного применения различных доз и систем удобрения. В сб. «Управление плодородием почв в условиях интенсивного их использования». – М.: МСХА, 1992. – С. 83-89.
2. Бородачев В.В., Шевченко В.А., Новиков А.Е., Ламскова М.И., Филимонов М.И. Энергетическая оценка тягово-эксплуатационных показателей чизельных и лемешных орудий на тяжелосуглинистых орошаемых почвах// Плодородие. – 2017. – №6. – С. 31-34.
3. Копытовский А.В., Волкова Е.И. О выборе сезона проведения мероприятий по разуплотнению почвенного профиля. Материалы международной научно-практической конференции. – М.: Мос. гос. ун-т природообустройства, 2008.
4. Котенко М.Е., Зубкова Т.А., Герченко М.А. Функциональное биоразнообразие микробных сообществ засоленных почв полупустынной зоны// Вестник МГУ. – Сер. 17 – почвоведение. – 2009. – №2. – С. 37-40.
5. Савич В.И., Федорин Ю.В., Химина Е.Г. Почвы мегаполисов, их экологическая оценка, использование и создание (на примере г. Москвы). – М.: Агробизнесцентр, 2007. – 660 с.
6. Савич В.И., Седых В.А., Балабко П.Н., Гукалов В.В. Инновационные технологии в агропромышленном комплексе. – М.: РГАУ-МСХА, 2020. – 352 с.
7. Шатилов И.С., Замараев А.Г., Духанин Ю.А., Савич В.И. Энерго-массообмен в звене полевого севооборота. Ч. 1. – М.: Агроконсалт, 2004. – 368 с.

#### AGROELOGICAL EVALUATION OF SOIL COMPACTION

O.Ye. Yefimov<sup>1</sup>, V.I. Savich<sup>1</sup>, V.V. Gukalov<sup>2</sup>, K.S. Borodina<sup>1</sup>

<sup>1</sup>RSAU-Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya ul 49, 127550 Moscow, Russia, e-mail: savich.mail@gmail.com, kira.boroda@yandex.ru;

<sup>2</sup>North Cuban Agricultural Experimental Station, Khleborobov ul. 301A, 353740 Leningradskaya, Russia, e-mail: chempion1985@yandex.ru

Compaction of soils under the influence of machine operation, during digression, alkalization, trampling, development of gleying and podsolization is considered. We consider it necessary to study the processes of compaction of the lower soil horizons under the influence of the mass of the upper layers from 1.1 to 1.8 g/cm<sup>3</sup>, with the development of fields of dynamic stresses.

The change in soil compaction in seasonal dynamics and under individual tree crops is shown. It was found that the cultivation of soddy-podzolic soils from ОК<sub>1</sub> to ОК<sub>3</sub> leads to an increase in the number of particles > 0.25 mm from 46.7 to 51.5% on poorly cultivated soil and from 58.9 to 61.6% on well-cultivated soil. The introduction of manure on chernozems and plowing of straw with alternating moldboard and non-moldboard treatments led to an increase in the structural coefficient from 1.6 to 3.1.

Key words: soil, compaction, soil cultivation, digression.