

УДК 631.41

Уплотнение почв как фактор корректировки моделей плодородия почв

Ефимов О.Е.¹, Сорокин А.Е.², Балабко П.Н.³, Савич В.И.¹,
Бородина К.С.¹, Рашкович В.Н.¹

¹РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева

²Московский авиационный институт

³Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова

Аннотация

В работе доказывается, что высокая плотность почв и поля динамических напряжений вызывают изменение параметров других физических полей, влияющих на почву. Большая плотность почв понижает значения ПДК подвижных форм токсикантов в почвах, повышает оптимальные величины концентраций подвижных форм элементов питания. Локальная плотность почв изменяет направление миграционных потоков в почве, повышает затраты энергии на образование гумуса, развитие растений. Верхние слои почв давят на нижние, что необходимо учитывать при прогнозе протекания в почвах почвообразовательных процессов.

По полученным данным, в дерново-подзолистой почве при плотности 1,1 и 1,3 г/см³ пористость составляла, соответственно, 53,7 и 47,1 %. При низкой плотности почв на газонах содержание подвижных форм цинка и свинца составляло, соответственно, $6,5 \pm 1,4$ и $8,5 \pm 0,9$ мг/кг; на селитебных участках, соответственно, $25,6 \pm 2,5$ и $14,6 \pm 1,6$ мг/кг.

По полученным данным, увеличение плотности почв приводило к большим затратам энергии растениями на потребление NPK и развитие корней.

Ключевые слова: ПЛОТНОСТЬ ПОЧВ, ПОЛЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ, ПДК, МОДЕЛИ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВ

Введение

Избыточное уплотнение почв приводит к изменению энергетического состояния воды, биофильных элементов, к изменению газового состава почв, миграции элементов, к затруднению поступления в растения элементов питания, к большим затратам энергии при росте корней, к изменению интенсивности электрических, магнитных и других физических полей. Это сопровождается уменьшением биопродуктивности угодий, приводит к большим затратам энергии при ведении сельскохозяйственного производства.

Причинами этих явлений могут быть динамические напряжения, движение сельскохозяйственных машин, несбалансированное применение удобрений, дигрессия, повышенная антропогенная нагрузка, промораживание.

Однако, несмотря на значительное количество работ по данной проблеме, в оценке этих явлений остается ряд спорных вопросов [1, 2, 3, 4, 5].

В качестве объекта исследования выбраны, в основном, дерново-подзолистые среднесуглинистые почвы Московской области на покровных суглинках [2, 3, 6, 7] и аналогичные почвы Лесной опытной дачи РГАУ-МСХА [4, 8].

Методика исследования состояла в оценке плотности почв, их водопроницаемости, выделения CO_2 , в оценке их фильтрации, микробиологической активности, содержания подвижных форм тяжелых металлов, биологической активности водных вытяжек из почв с использованием метода биотестов [8].

Экспериментальная часть

1. Причины повышения плотности почв

Повышение плотности почв обусловлено уплотнением их с/х машинами, вытаптыванием, дигрессией, полями динамических напряжений, давлением на нижележащие горизонты верхнего слоя почвы, промораживанием почв, потерей их структуры, увеличением выше допустимых пределов в почвенном поглощающем комплексе катионов Na, K, NH_4 , развитием анаэробнозиса, а затем высыханием почв и рядом других причин.

Изменение свойств почв под влиянием полей динамических напряжений обусловлено вращением Земли, движением ее вокруг Солнца, периодичностью приливных волн, охватывающих гидросферу и твердую землю. Однако влияние этих сил на эволюцию почв практически не рассматривается.

Верхние горизонты почв давят на нижние, что также определяет увеличение плотности почв. Если для слоя 25 см давление составляет 3000 т/га, то для слоя 50 см – уже 6000 т/га. При этом развитие уплотнения почв зависит от ряда факторов и сочетания свойств почв.

По данным Погодина Н.Н. с соавторами [9], на одернованных участках $OB = OB_0 + 0,15 \cdot n^{0,1}$, на старопахотных участках $OB = OB_0 + 0,17 \cdot n^{0,1}$, где OB в $г/см^3$, n – число проходов тракторов.

Нижние горизонты почв имеют большую плотность по сравнению с верхними (до $1,7 г/см^3$). Плотность почв возрастает при увеличении дисперсности почв и, в частности, в солонцах – до $1,9 г/см^3$, при оптимуме для большинства с/х культур – $1,1-1,3 г/см^3$.

При вспашке почв постоянно на определенную глубину образуется плужная подошва уплотненной почвы до $OB = 1,7-1,8 г/см^3$. Плужная подошва препятствует проникновению влаги из верхнего слоя в нижний и из нижележащего слоя в пахотный при засухе. Она способствует внутрипочвенному стоку влаги и питательных веществ вниз по склону [7].

Увеличение пастбищной нагрузки на 1 га также приводит к переуплотнению почв. Так, по данным, полученным Котенко М.Е. [9] на светло-каштановых почвах, увеличение дигрессии приводило к увеличению плотности, уменьшению биопродуктивности, к смене видового состава растений и, как следствие, к уменьшению фитомассы при некотором увеличении экскрементов. Дальнейшим этапом происходящих процессов являлось засоление, увеличение степени фульватности гумуса и увеличение подвижности тяжелых металлов в связи с образованием их комплексов с органическими лигандами. Оптимум пастбищной нагрузки для конкретных почв определялся по пересечению кривых зависимости от степени дигрессии фитомассы и количества продуктов жизнедеятельности животных.

2. Изменение свойств почв при переуплотнении

Переуплотнение почв приводит к изменению их водных свойств, показателей газового режима, трансформации минералов и органических веществ, изменению агрохимических свойств почв.

Плотность почв ($Пл$) связана с натяжением почвенной влаги ($бар$) и сопротивлением ($С$) почвы проникновению пенетрометра ($бар$):

$$C = 16,8 - 8,41 \cdot H + 24,5 \cdot Пл - 2,0 \cdot Б \cdot H^2 + 19,9 \cdot H \cdot Пл$$

С увеличением плотности почвы увеличивается ее твердость в кг/см², сопротивление вспашке увеличивалось на 16-25 %, а по следам колес – на 44-65 % [9].

Нерегулируемая рекреация приводит к снижению выделения из почв CO₂ от 113,7 до 85,4 мг CO₂ на 1 м². При этом увеличивается на 15-17 % нагревание почв и на 15-20 % иссушение почв [4].

Плотность почв в значительной степени определяет структуру почв и их водопроницаемость, затраты растениями энергии для проникновения корней через почву. Как следствие, плотность почв определяет урожай культур.

Уплотнение поверхностного слоя во влажные периоды препятствует проникновению влаги в глубину почвенного профиля, а в сухие периоды происходит непродуктивное испарение влаги. Это ведет к снижению урожая с/х культур: зерновых – на 6 ц/га, картофеля – на 15-25 ц/га [5].

При увеличении плотности в неоднородных по составу породах и почвах в разных горизонтах почв растворение осадков и реакции ионного обмена осуществляются выборочно (селективно). Растворяются лишь некоторые, наиболее растворимые компоненты. В дальнейшем растворимые в местах повышенного давления компоненты переносятся почвенными растворами и откладываются на участках с пониженным давлением.

Увеличение плотности почв приводит к уменьшению биопродуктивности угодий и плодородия почв, к уменьшению устойчивости почв к деградации. Увеличение плотности препятствует проникновению корней через почву и уменьшает доступность воды. При плотности почв более 1,8 г/см³ перестают распространяться в почве почти все корни. При этом сопротивление почвы росту корней (P) зависит от удельного сопротивления (кг/см²), площади поперечного сечения корня (≈ 1 мм) и от количества одновременно растущих корней (L): $P = KSL$ [5].

Изменение интенсивности, скорости распространения, продолжительности действия одних физических полей на компоненты почв приводит к адекватному изменению параметров других физических полей, действующих на почву.

Проведенные Поздняковым А.И. и Федотовым Т.Н. [10] исследования показали наличие пьезоэлектрического эффекта в почвах. Во всех случаях в противоположную ударной нагрузке сторону смещался положительный заряд. В дерново-подзолистой почве величина пьезоэффекта составляла 40-60 мВ в южном черноземе, в торфяной почве – 10-

15 мв.

Полученные нами данные показали существенные изменения свойств почв под влиянием их избыточного уплотнения. Так, по данным кафедры почвоведения РГАУ-МСХА [4], в пахотном слое пойменной дерново-глеевой сильно окультуренной почвы и в подпахотном слое плотность в г/см^3 , соответственно, составляла 1,15 и 1,31; общая пористость в % от объема – 59,3 и 48,5; в дерново-слабоподзолистой слабоокультуренной легкосуглинистой почве ОВ, соответственно, в А_п – 1,27 г/см^3 ; в А₂В – 1,42; пористость – 53,7 и 47,1 %.

Влияние антропогенной нагрузки на плотность верхнего слоя почв парков также зависит от сезона года. Так, в октябре и в марте плотность сложения в слое 0-10 см в г/см^3 составляла в дерново-глеевой среднесуглинистой почве на моренных валунных суглинках 0,94 и 1,01, на водно-ледниковых отложениях – 1,17 и 1,21. На тропах на этих почвах плотность изменялась, соответственно, от 1,24 до 1,45 в октябре и от 1,49 до 1,42 – в марте [8].

Обоснованное применение органических удобрений приводит к улучшению структуры почв, уменьшению плотности, к увеличению пористости. Так, по данным кафедры почвоведения РГАУ-МСХА [11], на дерново-подзолистых почвах в контрольном варианте и при внесении 200 т/га жидкого навоза плотность составила, соответственно, 1,4 и 1,3 г/см^3 , пористость аэрации – 16,4 и 19,4 %, выделение CO_2 мг/м^2 в час, соответственно, в мае – 94,1 и 184,1; в июле – 92,6 и 183,0. При внесении только минеральных удобрений урожай был выше, однако физические свойства почв не улучшились.

Содержание обменного калия существенно влияет на плотность почв и их фильтрационные свойства. Так, по полученным нами данным, при содержании обменного калия $2,9 \pm 0,2$ % от емкости поглощения процент нефилтрирующихся образцов почв составлял 27,7%; при содержании $4,7 \pm 0,2$ %, соответственно, 52,6%; при содержании K_2O $13,7 \pm 1,3$ % от емкости процент нефилтрирующихся образцов составлял 54%.

Уплотнение почв Лесной опытной дачи ТСХА сопровождалось увеличением содержания подвижных форм тяжелых металлов. Так, по данным Грачевой Н.М. [8], содержание свинца, растворимого в $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, менялось при уплотнении с 6,7 до 13,0 мг/кг в горизонте А₁, цинка – с 14,9 до 25,7, меди – с 2,3 до 2,8 мг/кг . Это обусловлено увеличением влажности, степени анаэробнозиса, доли грибной микрофлоры и, как следствие, уве-

личением доли в гумусе фульвокислот и низкомолекулярных кислот, повышением комплексообразующей способности почвенных растворов. Это иллюстрируется данными таблицы 1.

Таблица 1. Комплексообразующая способность почвенных растворов почв разной степени уплотнения, мг/л

Вариант	ОВ, г/см ³	Содержание в растворе	
		Pb	Mg
слабо-уплотненная тропинка	1,1-1,3	0,05	0,09
средне-уплотненная	1,3-1,5	0,06	0,30
сильно уплотненная	1,7-2,0	0,09	0,83

Переуплотнение почв существенно влияет на их газовый режим. Так, по данным Мосиной Л.В. [4], уплотнение от 0,6 до 2,0 г/см³ на дерново-подзолистых почвах привело к увеличению содержания обменных Zn, Al, Pb, при этом уменьшилось число микроорганизмов и их активность, наблюдалось возрастание доли спорообразующих бактерий, нарушение репродуктивных функций актиномицетов, уменьшалось и выделение CO₂ из почв.

Происходило снижение микробиологической активности в 2-4 раза, актиномицеты утрачивали способность к спорообразованию. На участках повышенного уплотнения встречались стерильные формы лучистых грибов [4].

Уплотнение почв приводит и к уменьшению стимулирующей способности водной вытяжки из почв на биотесты. Так, на сильно уплотненной почве размер корней биотеста составлял 2,5±0,5 см, стеблей – 1,2±0,3; на слабоуплотненной, соответственно, – 4,5±0,4 и 1,8±0,3.

По данным Пупонина А.И., уплотнение почв увеличивало непродуктивный расход почвенной влаги. Коэффициент водопотребления ячменя на участках с 2-кратным уплотнением в среднем за 3 года был на 7-22 % выше, чем на участках без уплотнения [12].

Влажность существенно влияет на устойчивость почв к переуплотнению и на степень обратимости процессов. При повышении влажности снижается прочность структуры почв, и ее разрушение происходит при меньших величинах механического давления. С повышением влажности время, необходимое для восстановления разрушенной структуры, увеличивается. При этом величина изменения плотности почв зависела от глубины исследу-

двух образцов.

На лесной опытной даче РГАУ-МСХА для участков с повышенной антропогенной нагрузкой в слое 0-3 см плотность в г/см^3 в мае, июле и в сентябре составляла $1,03 \pm 0,08$; $1,51 \pm 0,07$ и $1,80 \pm 0,07$, увеличиваясь при уменьшении влажности от $21,9 \pm 1,64$ до $18,2 \pm 1,44\%$ и $18,7 \pm 1,54$. Для слоя 7-11 см показатели плотности в мае, июле и сентябре были равны $1,00 \pm 0,05$; $1,04 \pm 0,07$ и $1,50 \pm 0,06$ % при уменьшении влажности за этот период от 18 до 11 %.

Повышенное уплотнение почв вызывает ухудшение экологического состояния компонентов ландшафта. При оценке уплотнения почв скверов Северо-Восточного округа г. Москвы нами установлено, что для состояния компонентов растительного покрова, соответствующего риску экологической системы на сильно плотной почве содержание Pb в вытяжке $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ с $\text{pH} = 4,8$ составляло $11,1$ мг/кг, Cu – $0,9$; для условий нормы на рыхлой почве: Pb – $4,4-4,7$; Cu – $0,1-0,7$ мг/кг.

При состоянии травостоя в норме и условиях риска в г. Москве ($n = 25$) содержание тяжелых металлов в почвах существенно повышалось: Zn – от $6,5 \pm 1,4$ мг/кг в скверах до $25,6 \pm 2,5$ мг/кг – в селитебных участках; Pb, соответственно, – от $8,5 \pm 0,9$ до $14,6 \pm 1,6$ мг/кг; Cd – от $0,5 \pm 0,1$ до $1,0 \pm 0,1$ мг/кг.

Заключение

Таким образом, уплотнение почв обусловлено как антропогенным воздействием, так и факторами почвообразования, развитием процессов оглеения, осолонцевания, криогенеза. В зависимости от сочетания внешних воздействий на почву переуплотнение развивается в разных горизонтах почвенного профиля, изменяется в сезонной динамике. Устойчивость к переуплотнению почв зависит от влажности, температуры, сочетания свойств почв, очередности и продолжительности внешних воздействий.

По полученным нами данным, большая плотность почв понижает предельно допустимые концентрации токсикантов в почвах, повышает оптимальное содержание в почвах биофильных элементов, а, следовательно, и планируемые дозы мелиорантов и удобрений, вносимых в почву, существенно влияет на миграцию ионов в почвах, интенсивность протекания почвообразовательных процессов. На плотных почвах – большие затраты энергии как на образование гумуса с $\text{C}_{\text{гк}}/\text{C}_{\text{фк}} > 1$, так и на развитие растений. Это определяет

необходимость информационно-энергетической оценки процессов уплотнения почв и влияния веса верхних горизонтов почв на нижележащие.

Для оптимизации обстановки применяют химические мелиоранты для устранения кислотности почв, осолонцевания, оглеения, обоснованные дозы органических и минеральных удобрений для повышения биопродуктивности угодий, улучшения структуры, увеличения интенсивности протекания дернового процесса почвообразования.

Однако малоисследованными остаются вопросы влияния на уплотнение почв полей динамических напряжений, веса вышележащих горизонтов, промораживания, зависимости устойчивости почв к уплотнению от минералогического состава, информационного и энергетического состояния почв.

Список использованных источников

1. Алексеев В.В. Динамика уплотненного состояния почв при минимальной обработке // Вестник Российского университета кооперации. – 2013. – №1(11). – С. 118-122.
2. Зинченко С.И., Зинченко В.С. Формирование плужной подошвы при различных приемах основной обработки серой лесной почвы // Владимирский земледелец. – 2015. – №1(71). – С. 2-5.
3. Игнатъев Н.Н., Емцев В.Т., Передкова Л.И. Оценка степени обеспеченности кислородом дерново-подзолистой почвы при разных условиях аэрации в условиях модельного опыта. В сб. «Почвенные режимы и их агроэкологическая оценка». – М.: МСХА, 2003. – С. 154-164.
4. Мосина Л.В., Довлетярова Э.А., Андриенко Т.Н. Лесная опытная дача РГАУ-МСХА как объект экологического мониторинга лесных и лесопарковых ландшафтов мегаполиса Москва. – М.: РУДН. – 2014. – 221 с.
5. Савич В.И., Сычев В.Г., Замараев А.Г. Энергетическая оценка плодородия почв. – М.: РГАУ-МСХА, ВНИИА 2007. – 500 с.
6. Савич В.И., Седых В.А., Балабко П.Н., Замана С.П., Гукалов В.В. Инновационные технологии в агропромышленном комплексе. – М.: РГАУ-МСХА, ООО «Плодородие». – 2020. – 350 с.
7. Стратанович М.В. Условия аэрации дерново-подзолистых почв при длительном применении жидкого навоза. В сб. «Основные итоги исследований по проблеме генезиса и мелиорации почв». – М. – 1993. – С. 59-63.
8. Савич В.И., Федорин Ю.В., Химица Е.Г. Почвы мегаполисов, их экологическая оценка, использование и создание (на примере г. Москвы). – М.: Агробизнесцентр, 2007. – 660 с.

Ефимов О.Е., Сорокин А.Е., Балабко П.Н., Савич В.И., Бородина К.С., Рашкович В.Н.

Уплотнение почв как фактор корректировки моделей плодородия почв

Электронный научно-производственный журнал

«АгроЭкоИнфо»

9. Савич В.И., Мазиров М.А., Седых В.А. Агроэкологическая оценка геофизических полей. – М.: РГАУ-МСХА, ВНИИА, 2016. – 492 с.

10. Федотов Т.Н., Поздняков А.И. Электрические свойства почв как проявление их коллоидной структурированности // Лесной вестник. – 2003. – №1, Почвоведение. – С. 69-74.

11. Стратанович М.В. Условия аэрации дерново-подзолистых почв при длительном применении жидкого навоза. В сб. «Основные итоги исследований по проблеме генезиса и мелиорации почв». – М. – 1993. – С. 59-63.

12. Савич В.И., Седых В.А., Гераськин М.М. Охрана почв. – М.: Проспект. – 2016. – 352 с.

Цитирование:

Ефимов О.Е., Сорокин А.Е., Балабко П.Н., Савич В.И., Бородина К.С., Рашкович В.Н. Уплотнение почв как фактор корректировки моделей плодородия почв [Электрон. ресурс] // АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. – 2021. – №1. – Режим доступа: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2021/1/st_111.pdf. DOI: <https://doi.org/10.51419/20211111>.