

ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ім. О. ГОНЧАРА

ТОВ «АГЕНТСТВО «ТЕЛЕПРЕСІНФОРМ»

ЗА ПІДТРИМКИ:

НАУКОВОЇ РАДИ З ПРОБЛЕМ ҐРУНТОЗНАВСТВА НАН УКРАЇНИ
КОРДОБСЬКОГО УНІВЕРСИТЕТУ (ІСПАНІЯ)
НАУКОВО-НАВЧАЛЬНОГО ЦЕНТРУ ДНУ ім. О. ГОНЧАРА –
ПРИСАМАРСЬКОГО БІОСФЕРНОГО СТАЦІОНАРУ ім. О. Л. БЕЛЬГАРДА

ҐРУНТОЗНАВСТВО

SOIL SCIENCE

ПОЧВОВЕДЕНИЕ

Том 13

№ 1–2 (20)

Науковий журнал
Заснований у 2001 році

веб-сторінка:
www.ussj.cv.ua

Київ – Дніпропетровськ
2012

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Чл.-кор. НАНУ, д-р біол. наук **А. П. Травлєєв** (голов. редактор); акад. УЕАН, д-р біол. наук **Jose Manuel Recio Espejo** (заст. голов. редактора, Іспанія); акад. НАНУ, д-р біол. наук **К. М. Ситник** (заст. голов. редактора); акад. НАНУ, д-р біол. наук **В. Г. Радченко** (заст. голов. редактора); д-р біол. наук **Л. О. Карпачевський** (наук. редактор, Росія); д-р біол. наук **А. В. Боговін** (наук. редактор); канд. іст. наук **В. М. Петренко** (наук. редактор); канд. біол. наук **В. А. Горбань** (відп. секретар); акад. НААНУ, д-р с.-г. наук **С. А. Балюк**; д-р біол. наук **Н. А. Білова**; д-р біол. наук **Ю. І. Грицан**; акад. НАНУ, д-р біол. наук **Д. М. Гродзинський**; д-р біол. наук **Гу Сіюй** (Китай); акад. РАН, д-р біол. наук **Г. В. Добровольський**; д-р біол. наук **О. В. Жуков**; чл.-кор. НАПНУ, д-р техн. наук **М. В. Загірняк**; д-р біол. наук **Н. В. Заїменко**; д-р біол. наук **В. М. Зверковський**; д-р с.-г. наук **В. І. Канівець**; канд. біол. наук **І. В. Ковда** (Росія); акад. УЕАН **П. І. Ломакін**; д-р біол. наук **І. А. Мальцева**; акад. НАНУ, д-р біол. наук **Д. О. Мельничук**; д-р біол. наук **О. В. Міхєєв**; д-р біол. наук **Л. П. Мицик**; акад. НАНУ, д-р біол. наук **В. В. Моргун**; канд. біол. наук **В. А. Нікорич**; д-р біол. наук **В. В. Никифоров**; д-р біол. наук **М. Є. Опанасенко**; д-р біол. наук **В. І. Парпан**; д-р біол. наук **О. Є. Пахомов**; д-р геогр. наук **С. П. Позняк**; д-р фіз.-мат. наук **М. В. Поляков**; акад. УЕАН, д-р біол. наук **Д. Г. Рей** (Індія); канд. біол. наук **М. С. Розанова** (Росія); д-р техн. наук **О. В. Січевий**; д-р біол. наук **С. Скіба** (Польща); акад. НАНУ, акад. НААНУ, д-р с.-г. наук **О. О. Созінов**; канд. техн. наук **В. С. Стогній**; д-р с.-г. наук **Д. Г. Тихоненко**; д-р біол. наук **І. Х. Узбек**; д-р біол. наук **Н. М. Цвєткова**; канд. фіз.-мат. наук **В. С. Чернишенко**; д-р біол. наук **С. В. Чернишенко** (Німеччина); д-р геогр. наук **М. К. Чертко** (Білорусь); д-р с.-г. наук **С. Г. Чорний**; чл.-кор. НАНУ, д-р біол. наук **В. В. Швартау**; акад. НАНУ, д-р біол. наук **Ю. Р. Шеляг-Сосонко**; чл.-кор. РАН, д-р біол. наук **С. О. Шоба** (Росія); канд. біол. наук **М. В. Шпак**.

EDITORIAL BOARD:

S. A. Balyuuk; N. A. Bilova; A. V. Bogovin (Associate Editor); S. V. Chernyshenko; V. S. Chernyshenko; M. K. Chartko; S. G. Chorny; V. A. Gorban (Managing Editor); Yu. I. Gritsan; D. M. Grodzinsky; G. V. Dobrovolsky; Jose Manuel Recio Espejo (Associate Editor); V. I. Kanivets; L. O. Karpachevsky (Associate Editor); I. V. Kovda; P. I. Lomakin; I. A. Mal'tseva; D. O. Mel'nychuk; A. V. Mikheyev; V. V. Morgun; L. P. Mytsyk; V. A. Nykorych; V. V. Nykyforov; M. J. Opanasenko; A. E. Pakhomov; V. I. Parpan; V. M. Petrenko; M. V. Polyakov; S. P. Poznyak; V. G. Radchenko; J. G. Ray; M. S. Rozanova; Yu. R. Shehyag-Sosonko; S. O. Shoba; M. V. Shpak; V. V. Shvartau; A. V. Sichevoy; Gu Siyu; S. Skiba; O. O. Sozynov; V. S. Stogniy; K. M. Sytnik (Associate Editor); D. G. Tikhonenko; A. P. Travleyev (Editor-in-Chief); N. N. Tsvetkova; I. Kh. Uzbek; M. V. Zagrynyak; N. V. Zaymenko; V. M. Zverkovsky; A. V. Zukov.

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара*

Адреса редколлегии: Асоціація засобів масової інформації України, вул. Івана Кудрі, 26, м. Київ, Україна; Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара, просп. Гагаріна, 72, 49010, м. Дніпропетровськ, Україна. *Телефони:* (056) 792–78–82, (0562) 76–83–81. *Web-сторінка:* www.ussj.cv.ua. *E-mail:* ecologgrunt@yahoo.com

© Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара, 2012
© Асоціація засобів масової інформації України, 2012

З М І С Т

ФІЗИКА ҐРУНТІВ

<i>Медведев В. В., Словинська-Юркевич А., Брик М.</i> Физическая деградация почв, её диагностика, ареалы распространения и способы предотвращения	5
<i>Карпачевский Л. О., Долманова И. И., Морозов А. И., Савельев В. В.</i> Влияние характера граничных условий на эволюцию профиля идеального подзола (модель УИП-5)	23
<i>Горбань В. А., Михайличенко О. О.</i> Фізичні властивості еолово-грунтових відкладів та похованих чорноземів приазовських лісових культурбіогеоценозів Приазов'я	31

КЛАСТЕРНА ПРОГРАМА «РОДЮЧІСТЬ ҐРУНТІВ»

<i>Чорний С. Г., Видинівська О. В., Волошенюк А. В.</i> Кількісна оцінка протидефляційної ефективності технології No-till в умовах південного степу України	38
<i>Малиєнко А. М.</i> Концепція і технологія оптимізації фізичних параметрів оброблюваного шару дерново-підзолистого супіщаного ґрунту зони Полісся України	48

ХІМІЯ ҐРУНТІВ

<i>Закорчевний И. И., Михальская Л. Н., Швартау В. В.</i> Гуминовые вещества и удобрения на их основе	60
<i>Дядькова К. Л., Козловський В. І.</i> Важкі метали в ґрунтах зелених зон міста Мелітополя (Запорізька область, Україна)	79

БІОЛОГІЯ ҐРУНТІВ

<i>Малиновська І. М., Літвін Ю. І.</i> Мікробні угруповання сірого лісового ґрунту, забрудненого зростаючими дозами важких металів	84
--	----

ЕКОЛОГІЧНЕ ҐРУНТОЗНАВСТВО

<i>Вовк О. Б.</i> Ґрунт в системі соціологічних критеріїв виділення об'єктів екологічної мережі	92
---	----

ЕКОЛОГІЧНА МІКРОМОРФОЛОГІЯ ҐРУНТІВ

<i>Стрижак О. В.</i> Еколого-мікроморфологічні особливості ґрунтів заплавних прируслових лісових біогеоценозів р. Самари	102
--	-----

ҐРУНТИ ТЕХНОГЕННИХ ЛАНДШАФТІВ

<i>Узбек І. Х., Галаган Т. І.</i> Особливості ґрунтоутворення в умовах техноземів степового Придніпров'я	108
<i>Ющук Є. Д.</i> Порівняльна оцінка впливу антропогенних чинників на біогеоценози Кривбасу	114

РЕЦЕНЗІЇ

<i>Травлев А. П., Горбань В. А.</i> Теории и методы физики почв / Под ред. Е. В. Шеина и Л. О. Карпачевского. – М. : «Гриф и К», 2007. – 616 с.	124
<i>Білова Н. А., Котович О. В.</i> Фельбаба-Клушина Л. М. Рослинний покрив боліт верхів'я басейну р. Тиса (Українські Карпати) та флювіальна концепція його охорони. Монографія. – Ужгород : Ліра, 2010. – 190 с.	130

ДО УВАГИ АВТОРІВ	134
-------------------------------	-----

TABLE OF CONTENTS

PHISICS OF SOILS

<i>Medvedev V. V., Slowinska-Jurkiewicz A., Bryk M.</i> Physical degradation of soils, its diagnostics, areas of distribution and ways of prevention	5
<i>Karpachevskiy L. O., Dolmanova I. I., Morozov A. I., Savelyev V. V.</i> The impact of the boundary conditions on the evolution of ideal podzole profile (Model EIP-5)	23
<i>Gorban V. A., Mikhajlichenko A. A.</i> Physical properties of eolian deposits and buried chernozems of Pryazovya artificial forest ecosystems	31

CLUSTERED PROGRAM «SOIL FERTILITY»

<i>Chornyy S. G., Vydynivska O. V., Voloshenyuk A. V.</i> The quantitative evaluation of the wind erosion preventive effectiveness of No-till technology by southern Ukraine conditions	38
<i>Malienko A. M.</i> Conception and technology for optimization of physical parameters of arable layer of soil-podzolic sandy-loam soils of polesie zone of Ukraine	48

CHEMISTRY OF SOILS

<i>Zakorchevnyi I. I., Mychalskaja L. N., Schwartau V. V.</i> Humic substance and fertilizers on their basis	60
<i>Dyadkova K. L., Kozlovskyy V. I.</i> Heavy metals in soils of green areas of Melitopol sity (Zaporizhzhya region, Ukraine)	79

BIOLOGY OF SOILS

<i>Malinovskaya I. M., Litvin Y. I.</i> Microbal community of grey forest soil, polluted by increasing doses of heavy metals	84
--	----

ECOLOGICAL SOIL SCIENCE

<i>Vovk O. B.</i> Soil in the system of sodzological criteria of object selection in ecological network	92
---	----

ECOLOGICAL SOIL MICROMORPHOLOGY

<i>Strizhak O. V.</i> Ecological and micromorphological soil features of riverbed floodplain forest biogeocenoses of Samara river	102
---	-----

SOILS OF ANTHROPOGENIC LANDSCAPES

<i>Uzbek I. Kh., Galagan T. I.</i> Peculiarities of technozem soil formation in the conditions of Pridneprovie steppe	108
<i>Yuschuk E. D.</i> Comparative assessment of anthropogenic impact on Kryvbas ecosystems	114

REVIEWS	124
----------------------	-----

TO THE AUTHORS' ATTENTION	135
--	-----

ФІЗИКА ҐРУНТІВ

УДК 631.41

В. В. Медведєв¹, А. Словинська-Юркевич², М. Брик²

ФИЗИЧЕСКАЯ ДЕГРАДАЦИЯ ПОЧВ, ЕЁ ДИАГНОСТИКА, АРЕАЛЫ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И СПОСОБЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ

¹Национальный научный центр «Институт почвоведения и агрохимии им. А. Н. Соколовского»

²Институт почвоведения и охраны окружающей природной среды, Люблин, Польша

Систематизированы почвенные процессы, которые сопровождают физическую деградацию. Это – снижение агрегирующей способности почв, приводящее к уменьшению содержания в почве агрономически полезных агрегатов, ухудшение их строения и свойств, глыбистость, переуплотнение и консолидация при обработке. Основной диагностический признак физической деградации – потеря почвой способности восстанавливать присущие ей модальные характеристики структурного состава и плотности сложения в природном состоянии. Выявлены технологии и технические средства, при применении которых почва подвергается либо противостоит физической деградации.

Ключевые слова: деградация, диагностика, ареалы, способы предотвращения

В. В. Медведєв¹, А. Словінська-Юркевіч², М. Брік²

¹Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського»

²Інститут ґрунтознавства та охорони довкілля, Люблин, Польща

ФІЗИЧНА ДЕГРАДАЦІЯ ҐРУНТІВ, ЇЇ ДІАГНОСТИКА, АРЕАЛИ ПОШИРЕННЯ І ЗАСОБИ ПОПЕРЕДЖЕННЯ

Систематизовано ґрунтові процеси, що супроводжують фізичну деградацію. Це – зниження агрегувальної здатності ґрунтів, що призводить до зниження вмісту у ґрунті агрономічно корисних агрегатів, погіршення їхньої будови і властивостей, брилистість, переущільнення і консолідація за обробітку. Основна діагностична ознака фізичної деградації – втрата ґрунтом здатності відновлювати притаманні йому модальні характеристики структурного складу і щільності будови у природному стані. Виявлено технології і технічні засоби, за застосування яких ґрунт піддається або протистить фізичній деградації.

Ключові слова: деградація, діагностика, ареали, засоби попередження

V. V. Medvedev¹, A. Slowinska-Jurkiewicz², M. Bryk²

¹National Scientific Centre «O. N. Sokolovsky Research Institute for Soil Science and Agrochemistry»

²Institute of Soil Science, Environment Engineering and Management, Lublin, Poland

PHYSICAL DEGRADATION OF SOILS, ITS DIAGNOSTICS, AREAS OF DISTRIBUTION AND WAYS OF PREVENTION

Soil processes which accompany with physical degradation are systematized. It is decrease in aggregating of soil ability, leading reduction of the content in soil of agronomical useful units, deterioration of their structure and properties, clodiness, overcompaction and consolidation at tillage. The basic diagnostic attribute of physical degradation – loss by soil of ability to restore modal characteristics of structure and bulk density inherent in a natural condition. Technologies and means at which application the soil is exposed are revealed or resists to physical degradation.

Keywords: degradation, diagnostics, areas, ways of prevention.

В проекте государственного стандарта Украины физическую деградацию предлагается оценивать по содержанию агрономически полезной структуры, ее водостойчивости и равновесной плотности сложения. В качестве дополнительных

показателей рекомендуется использовать гранулометрический состав, основные почвенно-гидрологические константы, глубину залегания грунтовой воды и температуру почвы. Степень деградации определяется по отклонению любого из перечисленных показателей от начального или эталонного значения. Например, если отклонение равновесной плотности не превышает 10 %, считается, что деградация отсутствует. Каждые следующие 10 % усиливают степень деградации, а когда отклонение превысит 40 %, деградация считается катастрофической. Под эталоном подразумевается почва с показателями в начальный период использования, а деградированной – почва, приобретшая новые ухудшенные показатели после некоторого периода использования. Важно обратить внимание, что новые показатели должны быть устойчивыми. Иначе говоря, почву, которая способна восстановить природные физические показатели, нельзя назвать деградированной.

Приблизительно такой же подход еще ранее был принят в России (Березин, 2002). Правда, набор индикаторов физической деградации тут был несколько шире. Кроме упомянутых, здесь использовали межагрегатную и внутриагрегатную пористость, коэффициент фильтрации, уменьшение мощности почвы и другие. Некоторые российские ведомства (например, Госкомзем и Минэкологии) рекомендуют пользоваться своими методиками оценки физической деградации почв (Добровольский, 2002), суть которых примерно такая же – оценка ухудшения почвы по отношению к некоторому исходному состоянию.

По данным Международного проекта «Глобальная оценка деградации почв», поддержанного ООН и в котором участвовали около 180 ученых со всего мира, процессы физической деградации распространены на площади около 1,7 млрд. га (Добровольский, 2002). К этому виду деградации отнесены водная и ветровая эрозия, то есть, потеря мощности профиля, а также потеря структуры и переуплотнение. При определении вида и степени физической деградации в этом проекте доминировали экспертные заключения, в большей мере основанные на визуальных и лишь отчасти экспериментальных данных. Разумеется, в тех случаях, когда интенсивность разрушения почвы достигала значительных масштабов, как это происходило с эрозией почв в США в 20–30-е годы минувшего столетия, сомнений в отношении физической деградации не возникало. Точно также явственными процессы коркообразования, глыбистости и переуплотнения, которые обнаруживаются, когда процесс негативной трансформации почвы достигает значительного развития. Вместе с тем, используя качественные, а по сути лишь экспертные оценки и, не имея, как правило, эталона с четко фиксированными начальными показателями, достаточно трудно определить наличие физически деградированной почвы. Тем более, что наблюдений физических свойств, которые можно было бы отнести к эталонным, не было ни при крупномасштабном почвенном обследовании, ни при любом другом обследовании почв. Фактически единственными источниками информации для суждения о наличии физической деградации, являются результаты сравнительных наблюдений на целине и пашне, а также в длительных стационарных полевых опытах.

По этой причине, опираясь именно на эти источники информации, нам представляется важной систематизация процессов в почве, относящихся к физической деградации, установление ее причин, более ясной диагностики, возможных ареалов распространения и поиск путей ее предотвращения.

МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ

В статье использованы результаты длительных исследований черноземов типичных, обыкновенных и южных в условиях целины (залежи) и пашни. На основании этих сравнительных исследований сделаны выводы об изменении физических свойств, интерпретируемые нами как деградация. В качестве индикаторов физической деградации использованы результаты изучения макро- и микроморфологического строения почв и отдельных почвенных агрегатов, структурный состав (агрономически полезная фракция, глыбы и пыль), водоустойчивость агрегатов, дифференциальная пористость (соотношение межагрегатной и внутриагрегатной пористости, соотношение вертикальных и

горизонтальных пор – анизотропность). Для наблюдений за равновесной плотностью на заповедном участке и пашне чернозема южного общая продолжительность наблюдений составила 30 лет.

Гипотетические ареалы распространения деградированных почв установлены с использованием базы данных «Свойства почв Украины». База охватывает наблюдения за физическими свойствами почв, начиная с 60-х гг. минувшего столетия, и почти все пахотные почвы страны, отмеченные на почвенной карте масштаба 1:1500000. Характеристика базы приведена в работе Т. М. Лактионовой и др. (Лактионова, 2010). Кроме того, использованы результаты изучения физических свойств и микроморфометрии структуры в длительных стационарных опытах, проведенных на почвах основных природных зон, описанные в наших прежних публикациях (Медведев, 1988, 2008). Использованы также материалы наших коллег из Польши, которые длительное время проводили исследования физических свойств и микроморфологии почв в аналогичном направлении (Bryk, 2004a, 2004b, 2012; Slowinska-Jurkewicz, 2004).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Макро- и микроморфологическое строение почв и агрегатов. Физическая деградация четко диагностируется по данным сравнительных исследований макро- и микростроения почв и отдельных агрегатов целины и пашни. Агрегаты пашни теряют генетически присущую им форму. Например, зернистая, изометрическая форма агрегатов черноземов на целине становится неправильной, угловатой, несовершенной на пашне. Резко снижается коэффициент оформленности Уэйделла-Кухаренко – с 0,40-0,90 на целине до 0,10-0,30 на пашне. В шлифах губчатая многопорядковая непрерывная структура с разветвленной сетью пор газового и биологического происхождения в агрегатах целины сменяется на пашне преимущественно порами-трещинами, явно меньше становится корней, зато больше неагрегированных тонкодисперсных частиц в порах. Это значит, что на пашне идут активные процессы диспергации почвенной массы, а процессы агрегации тормозятся. На целине, напротив, происходят аккумулятивные процессы с участием поливалентных катионов (отсюда доминирование округлых коагуляционных структур с почти обязательной гидрофобной пленкой по периферии агрегата). Минерализация органического вещества в малых порах при этом замедляется и тем самым сохраняется от потери, чего не происходит на пашне.

Преимущественно трещиноватое анизотропное поровое пространство пашни лучше воспринимает влагу атмосферных осадков, но в нем формируются преференциальные потоки, приводящие к быстрому проникновению влаги и загрязнителей в глубь профиля либо потерям при физическом (непродуктивном) испарении. Такая структура пор не способствует сохранению влаги, ее экономному использованию, активному росту корней. Кроме того, крупнопористое пространство легко уплотняется под действием даже легких машинно-тракторных агрегатов, о чем, как увидим далее, свидетельствует возрастание равновесной плотности на пашне в сравнении с целиной. При этом одновременно возрастает структурная связность отдельных агрегатов.

Результаты микроморфометрических исследований агрегатов и пор целинных и старопашотных почв демонстрируются в табл. 1, из которой следует, что микростроение этих объектов принципиально различно – и в отношении порядковости агрегатов, и соотношения агрегатов высокого и низкого порядков, и в соотношении видимых пор в горизонтальной и вертикальной ориентациях, и в количестве неагрегированного материала в порах.

М. Bryk (2004a), М. Bryk et al. (2004b) также отмечают, что на целине поровое пространство изотропно, а его анизотропность значительно усиливается при действии ходовых устройств машин и интенсивных ливней. Причем почвы, развивающиеся на лессах, имеющие разветвленное поровое пространство и сравнительно большие размеры пор, уплотняются намного сильнее (Slowinska-Jurkewicz, 2004).

Таблица 1

Микростроение агрегатов и пор в целинных и распаханых черноземах

Вариант	Глубина, см	Агрегаты			Поры***			отношение видимых межагрегатных пор к внутренним агрегатным
		коэффициент оформленности	порядковость	соотношение агрегатов высшего и низшего порядков (в 20 случайно выбранных объектах)	видимые в шлифах стандартной толщины (%)		количество неагрегированного материала в порах размером менее 0,05 мм (%)	
					вертикальной	горизонтальной		
Чернозем типичный мощный среднесуглинистый (Сумская область)								
Целина	3-13	0,40-0,50	5-6	16:4 (>5/<5)	30	24	8	1,20
Пашня	2-12*	0,10-0,25	2-4	10:10 (>3/<3)	35	38	35	3,50
То же	То же**	0,20-0,30	3-4	12:8 (>4/<4)	22	28	28	1,75
Чернозем обыкновенный тяжелосуглинистый (Днепропетровская область)								
Залежь	4-14	0,50	5-6	17:3 (>5/<5)	32	29	6	1,10
Пашня	2-12*	0,25-0,30	3-4	12:8 (>4/<4)	35	37	25	2,00
То же	То же**	0,30-0,35	4	15:5 (>4/<4)	30	33	15	1,30
Чернозем южный тяжелосуглинистый (Херсонская область)								
Целина	12-22	0,35-0,45	3-4	12:8 (>4/<4)	15	20	20	1,30
Пашня	12-22*	<0,10	2	10:10 (>2/<2)	50	48	80	6,00
То же	То же**	0,10-0,15	2	15:5 (>2/<2)	10	18	50	2,00

* сразу после обработки

** при равновесной плотности

*** ошибка среднего арифметического в пределах 5-15 % при числе измерений в микроскопических препаратах 10-20

**** среднее из 10 полей зрения при увеличении 45 х

Таким образом, физическая деградация с микроморфометрической стороны – это процесс негативной трансформации строения агрегатов и пор, следствием чего является уменьшение качества агрономически полезных агрегатов, уплотнение почвы. Относительно отдельных агрегатов этот процесс получил название консолидации (Нопг, 2000), которая приводит к локальной абитизации почвы и ослаблению последующих процессов восстановления характерных для целинной почвы параметров структуры и сложения (Медведев, 2011).

Равновесная плотность сложения (определенная в середине лета, не менее чем через два месяца после последней обработки) на пашне была существенно выше, чем на целине. Причем для всех исследованных подтипов черноземов разница была достоверной в пахотном и подпахотном слоях. Это, скорее всего, является следствием разрушения структуры и изменения ее формы. Важно подчеркнуть, что равновесная плотность проявляет тенденцию к возрастанию со временем (табл. 2). Мы установили это, используя целинный чернозем южный заповедника «Аскания-Нова» (Херсонская область) и рядом расположенный участок той же почвы, распаиваемый более 100 лет. Измерения плотности (в 6-ти кратной повторности), произведены в середине лета с интервалом в 15 лет – в 1967, 1982 и 1997 гг. Оказалось, что плотность на целине на протяжении 30 лет оставалась постоянной. В верхнем слое 0–20 см, обогащенном корнями, она была близка к 1,00 г/см³, в слое 20–40 см – в пределах 1,15–1,22 г/см³, в слое 40–70 см – приближалась к 1,30 г/см³, в слое 70–110 см – не выше 1,34 г/см³. Эти значения можно рассматривать как наиболее характерные для данной почвы, которая пребывает в природном состоянии, без влияния ходовых устройств машинно-тракторных агрегатов, уборочной техники, других агроприемов.

На пашне до глубины 60–80 см плотность достоверно выше, причем расхождения в верхнем слое достигают 0,3 г/см³. Отметим – это значительное различие, что обуславливает существенные расхождения между целиной и пашней. Подчеркнем – пашня в рыхлом состоянии, то есть, близком к уплотнению целины, пребывает не более 2-х месяцев. На протяжении остального времени года, не менее 10 месяцев, она переуплотнена. Уже в 1967 г. она была в переуплотненном, явно отличном от природного, состоянии. Ясно, что это аккумулятивное уплотнение является следствием продолжительной распашки и применения других технологических операций. В последующие 30 лет уплотнение распространялось глубже по профилю – с 60 до 80 см. Верхняя часть профиля при этом оставалась в том же состоянии.

Таблица 2

Равновесная плотность сложения чернозема южного в условиях целины и продолжительной распашки (г/см³)

Глубина, см	1967 г.		1982 г.		1997 г.	
	целина	пашня	целина	пашня	целина	пашня
0–10	1,01	1,27*	0,97	1,24*	1,00	1,20*
10–20	1,04	1,22*	1,02	1,25*	1,02	1,28*
20–30	1,18	1,26*	1,14	1,28*	1,11	1,24*
30–40	1,22	1,34*	1,21	1,37*	1,17	1,34*
40–50	1,28	1,36*	1,27	1,35*	1,22	1,33*
50–60	1,28	1,34*	1,29	1,36*	1,23	1,36*
60–70	1,31	1,33	1,28	1,35*	1,36	1,34*
70–80	1,29	1,33	1,33	1,33	1,28	1,36*
80–90	1,33	1,32	1,33	1,32	1,30	1,33
90–100	1,33	1,32	1,34	1,32	1,32	1,31
100–110	1,32	1,32	1,34	1,31	1,32	1,33

*Разница достоверна при уровне вероятности $\leq 0,95$ ($\pm 0,04$ г/см³)

Установленная величина равновесной плотности сложения в пахотном слое одновременно означает некий потенциал сопротивления почвы внешней механической нагрузке последнего периода механизации земледелия. Из полученных многочисленных данных, опубликованных, например, в книге «Переуплотнение пахотных почв...» (1987),

известно, что аналогичная почва может уплотняться до 1,40 и даже 1,50 г/см³. Если же равновесная плотность исследованного чернозема южного составила 1,20–1,28 г/см³, то это означает, что почва разуплотнилась. Поэтому, 1,20–1,28 г/см³ – это характеристика емкости сопротивления данной почвы внешней нагрузке. Иначе говоря, пашня уже не может разуплотниться до величины уплотнения в природном состоянии, но еще может разуплотниться с 1,40–1,50 до 1,20–1,28 г/см³. Легко прогнозировать, что сохранение современной преимущественно невысокой культуры земледелия, которая сопровождается уменьшением содержания гумуса в почве, разрушением структур, декальцинацией, приведет к дальнейшему увеличению равновесной плотности и соответственно уменьшению емкости сопротивления почвы внешней нагрузке.

Консолидация. Существенная особенность распаиваемой и особенно орошаемой почвы заключается в отчетливом проявлении пластической деформации, являющейся причиной повышенной консолидации почвенной массы. Напомним, что под консолидацией подразумевается уплотнение почвы, при котором происходит не только уменьшение пористости (эта стадия называется собственно уплотнением), но и выдавливание влаги из внутриагрегатных промежутков (Ногн, 2000). Так, плотность отдельных структурных агрегатов чернозема южного размером 5–3 мм на целине составляет 1,50, пашне – 1,60, а при орошении – 1,68 г/см³. Фактически речь здесь уже идет о слитобразовании, при котором достигается очень высокая плотность упаковки микроагрегатов за счет их взаимной ориентации (Медведев, 1982).

Структурный состав. При длительной распаивке структурный состав исследованных черноземов претерпевает значительные изменения (табл. 3). Достоверное снижение содержания в пахотном слое по сравнению с той же глубиной целины агрегатов агрономически полезного размера (10–0,25 мм) сопровождается одновременным увеличением содержания глыб (>10 мм). Распыления почвы при этом не происходит.

Коэффициент структурности, рассчитанный по отношению содержания агрегатов размером от 10 до 0,25 мм к сумме пылеватых и глыбистых структур, снижается в 1,6–2,9 раза. Описанные особенности структурного состава черноземов на целине и на пашне наглядно отражаются на треугольнике (рис. 1), где структурность оценивается всего лишь одной точкой вместо громоздкой таблицы. Точки целины концентрируются в правом нижнем углу треугольника, потому что здесь максимальное содержание полезной структуры и минимальное количество глыб. Левее от них располагаются точки пашни вследствие заметного снижения содержания ценной структуры и увеличения содержания глыб.

Водоустойчивость агрегатов. Характерным является резкое снижение водоустойчивости агрегатов пашни, причем на этом фоне практически исчезают водоустойчивые агрегаты крупнее 3 мм (табл. 3). Можно утверждать, что это является следствием потери органического вещества. Ведь в черноземе типичном содержание общего гумуса в верхнем слое 0–10 см снижается с 7,76 до 4,58, а в черноземе южном – с 4,39 до 3,22 % (Медведев, 2008). Отчетливо пониженная водоустойчивость агрегатов пашни по данным жесткого метода Саввинова несколько преувеличивается, так как при применении более мягкого способа подготовки образцов к мокрому просеиванию, когда минимизируется разрушительное действие заземленного воздуха, различия в водоустойчивости между целиной и пашней становятся менее контрастными. Причина этого – различное внутреннее строение агрегатов целины и пашни. Строение агрегата целины характеризуется наличием постоянных водотоков, укрепленных сильно развитой корневой системой и органическим веществом. Структурные отдельности пашни меньше пронизаны корнями и имеют нестабильное поровое пространство. Это различие существенно сказывается при жестких условиях просеивания, позволяя заземленному воздуху покидать агрегаты целины по сформировавшимся водотокам, не разрушая их. Менее прочные поры на пашне остаются неразрушенными только при медленном капиллярном насыщении агрегатов.

В орошаемых условиях либо под действием уплотняющего действия ходовых устройств машинно-тракторных агрегатов формируются более водоустойчивые агрегаты, однако при длительном предварительном капиллярном насыщении влагой (по П. В. Вершинину, 1959) их водоустойчивость оказалась ложной (Медведев, 2008).

Таблица 3

Структурно-агрегатный состав целинных и распаханых черноземов

Варианты	Глубина, см	Количество агрегатов при сухом просеивании (%) размером (мм)				Коэффициент структурности	Количество агрегатов при мокром просеивании (%)			Коэффициент водоустойчивости
		>10	10-0,25	>1	>0,25		>3	>1	>0,25	
Чернозем типичный	целина	7	84	65	91	9	26	65	35	0,7
	пашня	17	72*	61	89	11	1	10	46**	0,5
Чернозем обыкновенный	залежь	9	77	50	86	14	4	11	41	0,5
	пашня	15	66*	45	81	19	0	1	23**	0,2
Чернозем южный	целина	0	81	42	81	19	2	20	53	0,7
	пашня	41	59**	85	100	0	0	1	24**	0,3

* Различия достоверны при уровне вероятности 0,90.

** То же при уровне 0,95.

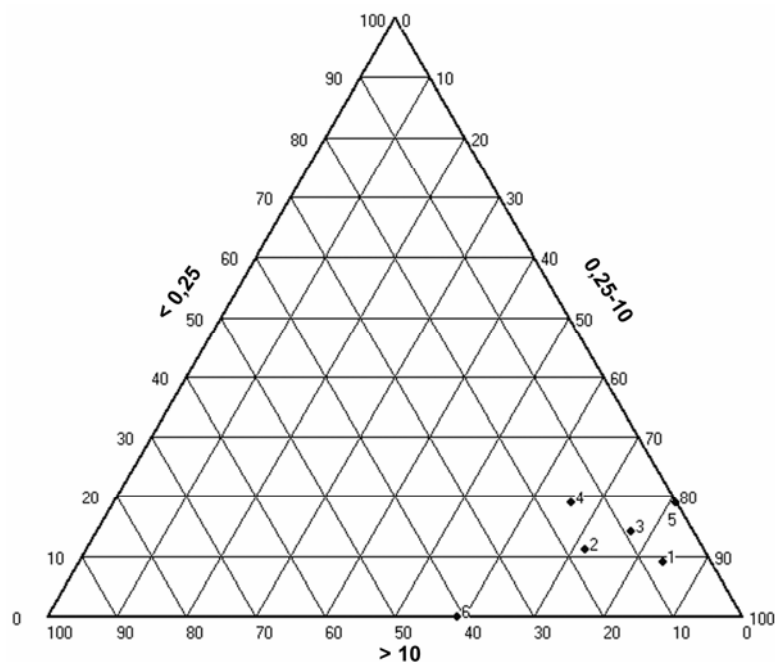


Рис. 1. Структурный состав (сухое просеивание, содержание в %, размер отдельностей в мм) верхнего слоя черноземных почв: 1, 2 – соответственно целина и пашня чернозема типичного, 3, 4 – то же чернозема обыкновенного, 5, 6 – то же чернозема южного

Меж- и внутриагрегатная пористость почв и агрегатов. При распашке целины значительно изменяется соотношение основных компонентов сложения и дифференциальная пористость: возрастает межагрегатная пористость, снижается внутриагрегатная пористость, снижаются объем твердой фазы макроагрегатов и общий объем твердой фазы почвы (рис. 2).

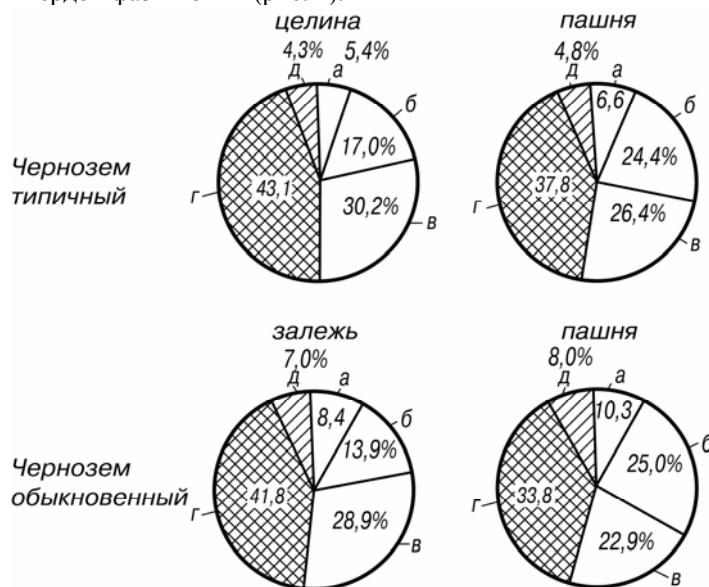


Рис. 2. Циклограммы сложения верхнего слоя целинных и распаханых черноземов:
а – пористость микроагрегатов; б – пористость межагрегатная;
в – пористость внутриагрегатная; а + б + в – общая пористость; г + д – твердая фаза почвы;
г – твердая фаза агрегатов; д – твердая фаза микроагрегатов; а + д – объем микроагрегатов;
в + г – объем макроагрегатов

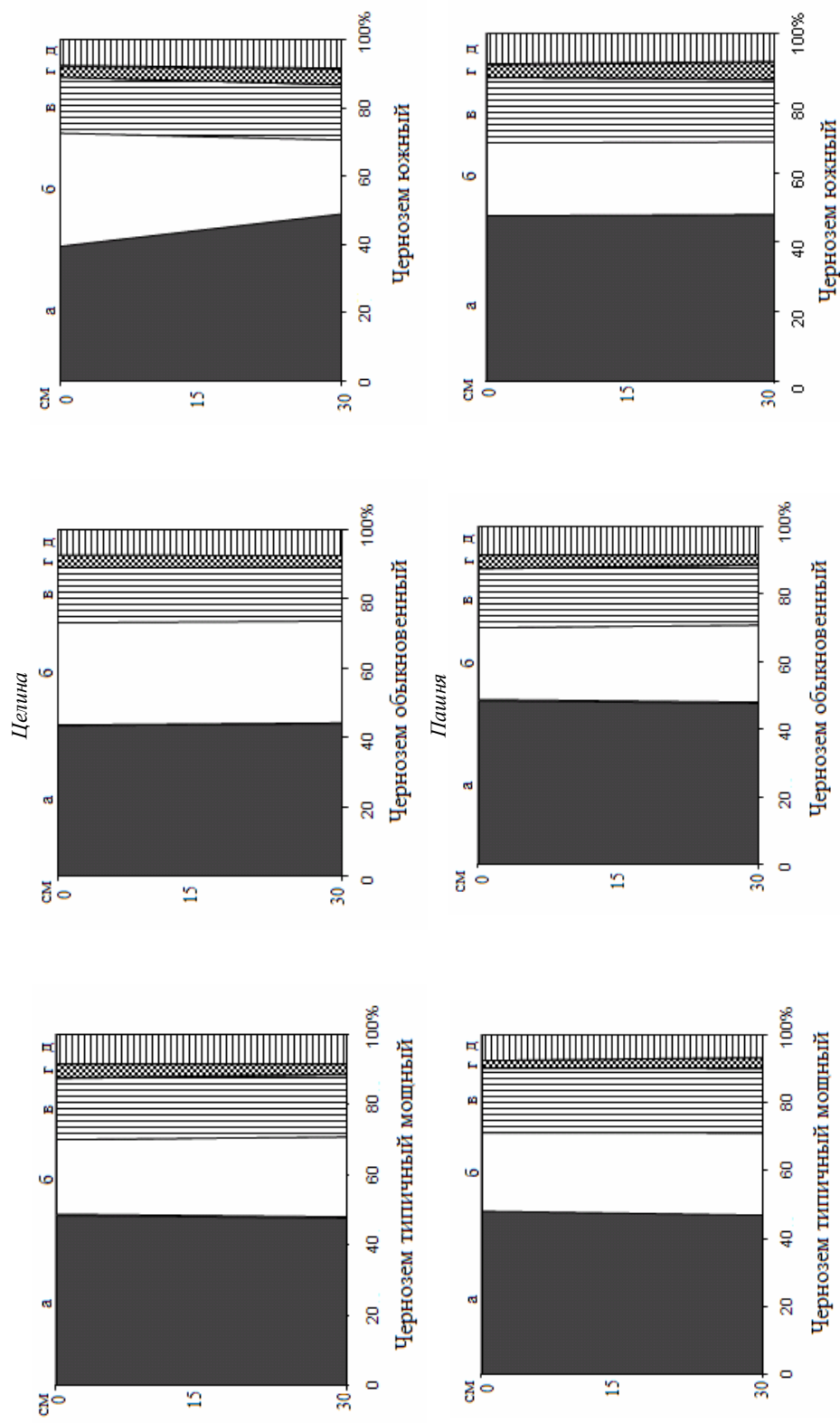


Рис. 3. Дифференциальная пористость целины и пашни в пахотном слое:

а – твердая фаза почвы, б – поры аэрации, в – капиллярная, г – рыхлосвязанная, д – прочносвязанная влага

Явственно различимы параметры дифференциальной пористости целины и пашни при их демонстрации с помощью способа Н. А. Качинского (рис. 3). При увлажнении, равном наименьшей влагоемкости (а именно при этом увлажнении построены диаграммы), пашня имеет значительно меньше пор аэрации и больше капиллярных пор. Казалось бы, хорошо, однако нужно иметь в виду, что такой уровень увлажнения в почве встречается очень непродолжительное время, только весной после снеготаяния либо после обильных дождей. Иначе говоря, преимущество пашни в дифференциальной пористости фактически лишь потенциальное, которое может быть реализовано при очень рациональной и продуманной агротехнике, минимизирующей физическое испарение, либо в условиях орошения.

Водопроницаемость и водоудерживающая способность. Сразу после обработки чернозем в максимально взрыхленном состоянии характеризуется высокой водопроницаемостью (среднее за 6 ч наблюдений 120–142 мм/ч); в состоянии равновесной плотности водопроницаемость снижается более чем в 2 раза (50–62 мм/ч). На целинных участках водопроницаемость относительно стабильна (65–93 мм/ч).

Водоудерживающую способность (с помощью применения последовательно усиливающегося отрицательного давления) почвенной влаги целинных и распаханых черноземов исследовали в интервале наиболее доступной влаги – от 4,9 до 78,4 кПа.

Учитывая, что метод, которым мы пользовались, в процессе отсасывания влаги приводил к нарушению естественного сложения почвы, работы проводили с образцами, подготовленными в лаборатории. Исследовали средний образец (растерт и просеян через сито с отверстиями размером 1 мм), макроагрегаты – размером 3 мм (отсеяны из почвы) и пылеватую фракцию (средний образец растерт и просеян через сито с отверстиями размером 0,25 мм). Полученные результаты представлены рис. 4 в виде влажностных кривых (зависимость содержания влаги от давления) и на рис. 5 в виде дифференциальной пористости (с расчетом диаметра пор по Жюрену).

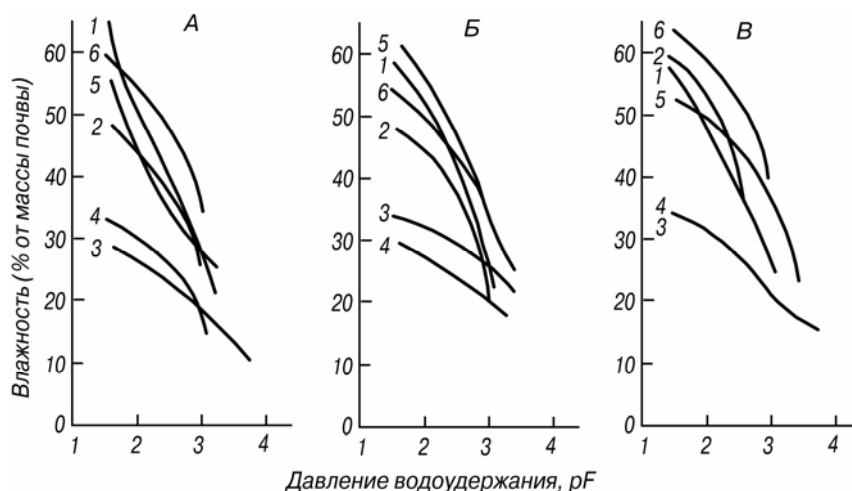


Рис. 4. Водоудерживающая способность агрегатных фракций черноземов типичного (А), обыкновенного (Б) и южного (В): 1 – почва целины; 2 – то же пашня; 3 – фракция макроагрегатов целины; 4 – то же, пашня; 5 – пыль целины; 6 – то же, пашня

В черноземе обыкновенном на залежи влажностные кривые для всех исследованных образцов располагаются выше соответствующих кривых пашни. Это свидетельствует о более высокой водоудерживающей способности у этой почвы залежи в рассматриваемом диапазоне давлений. Для чернозема типичного эта закономерность сохраняется только для образца «вся почва», а в черноземе южном, наоборот, водоудерживающая способность распаханых вариантов выше, чем

целинных. Полученные факты являются, видимо, следствием того, что взятые с пашни образцы чернозема типичного и, особенно, чернозема южного наименее механически устойчивы. При растирании образцов пашни у этих почв более заметно, чем у целинных черноземов, возрастало количество мелких микроагрегатов, водоудерживающая способность которых выше, чем у макроагрегатов.

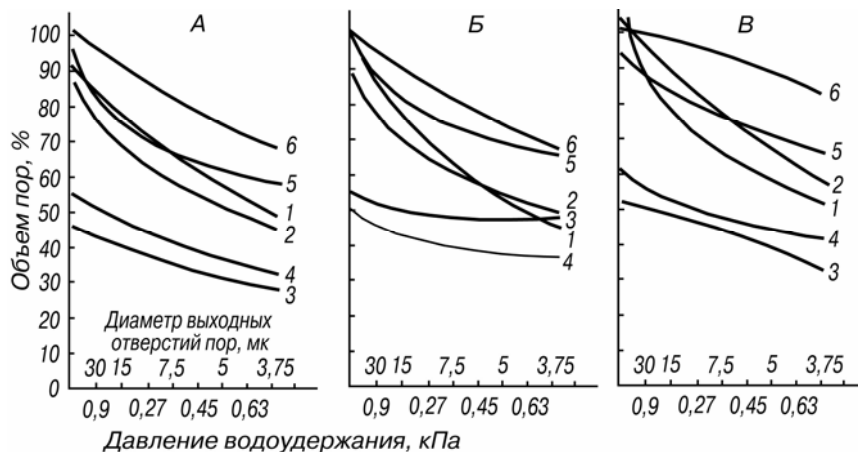


Рис. 5. Дифференциальная пористость агрегатных фракций черноземов типичного, обыкновенного и южного. Обозначения см. на рис. 4.

Весьма характерны различия в дифференциальной пористости исследованных образцов. Для всех почв около 90 % пор при плотности сложения, близкой к $1,0 \text{ г/см}^3$, имеют размеры менее 60 мк, из них около половины – за пределами определений (менее 3 мк). Для микроагрегатов такие же группы пор составляют соответственно около 95 и 60 %. Макроагрегаты резко отличаются по структуре порового пространства от указанных фракций. Значительная часть пор в них имеет размеры более 60 мк (около 50 %) и менее 3 мк (около 30 %) и лишь менее 20 % пор оказалось возможным дифференцировать в интервале давлений почвенной влаги от 4,9 до 78,4 кПа (промежуточные размеры между 60 и 3 мк). Иначе говоря, у макроагрегатов поровое пространство бимодального строения (преобладание пор двух размеров), у микроагрегатов – модального (преобладание одного размера пор).

Длительная распашка относительно более устойчивой к механическим воздействиям почвы (чернозем обыкновенный) увеличивает в макроагрегатах количество крупных и уменьшает количество мелких пор, т.е. приводит к усилению в такой почве потенциальной сухости макроагрегатов, а значит, ухудшает их агрономическую ценность. В черноземах типичном и южном влияние обработки на водно-воздушный режим сказывается более благоприятно.

Таким образом, длительная распашка черноземных почв изменяет их водоудерживающую способность в сравнении с целиной. Различия наиболее существенны в интервале низких давлений почвенной влаги. Если распашка сопровождается накоплением мелких агрегатов, потенциальная водоудерживающая способность пашни в сравнении с целиной резко возрастает, однако устойчивость этого запаса доступной влаги в почве невысока, при увеличении давления влаги ее содержание быстро падает. Поровое пространство длительно обрабатываемой пашни, видимо, может постепенно трансформироваться от бимодального к модальному строению, характеризующемуся преобладанием (при равновесной плотности) тонких пор.

Гипотетические ареалы распространения физической деградации почв. Исходя из сравнения структурного состава, плотности сложения и некоторых других свойств на целине и пашне, следует признать, что все старопашотные черноземные почвы следует считать деградированными. Для этого достаточно еще раз обратиться к табл. 3, чтобы убедиться, сколь существенны потери агрономически полезной

структуры и ее водоустойчивости на пашне по сравнению с целиной. Это значит, что такой вывод будет справедлив для всех черноземных почв Лесостепи и Степи страны, по крайней мере, для тех из них, которые находятся в пашне не менее 100 лет, ибо именно такого возраста пашня была объектом нашего исследования. Вместе с тем, сопоставив уровни оструктуренности на пашне с известными оценками (Кузнецова, 1979), можно утверждать, что структура старопашотного чернозема продолжает оставаться хорошей и удовлетворительной. Из этого следует два важных вывода: 1) физическая деградация, если учесть, кроме структуры и плотности, другие исследованные показатели, является объективно существующим фактом; 2) степень физической деградации, скорее всего, является слабой или средней. Последнее может относиться к случаю невысокой культуры земледелия в течение достаточно продолжительного времени, как это мы отметили в нашей работе (Медведев, 1988).

Важный диагностический признак физической деградации – неспособность почв восстановить присущие ей показатели структурного состава и плотности сложения в природных условиях. Правда, как показывают наши данные, когда объектом исследования было продолжительное содержание почвы в залежном состоянии, показатели структурности и плотности сложения все же могут восстанавливаться до целинного состояния, хотя и очень медленно. Для этого нужно не менее 15–25 лет, так как только за это время могут постепенно сформироваться характерные для целины процессы трансформации органического вещества и гумификации и разуплотниться консолидированные агрегаты. По этой причине совершенно очевидное состояние физической деградации, в котором пребывают современные старопашотные черноземные почвы, можно считать временным. В качестве доказательства того, что потенциальные возможности старопашотного чернозема к реанимации структуры сохраняются, служат результаты расчетов фактора дисперсности Н. А. Качинского, которые на целине и пашне практически одинаковы (Медведев, 1988).

Сегодня чрезвычайно актуальным является выявление ареалов предрасположенности почв к физической деградации – потере агрономически полезной структуры, проявлениям глыбистости, переуплотнения (рис. 6, 7) – и применение именно здесь наиболее эффективных профилактических мер.

Таблица 4

Распределение пахотных почв по содержанию макроагрегатов крупнее 10,0 мм (глыбистость)

Оценка возможной глыбистости	Содержание фракции, %	Площадь почв	
		%	млн. га
Очень низкая	<10	5,9	1,8
Низкая	11-30	71,7	21,5
Средняя	31-50	11,0	3,3
Высокая	51-70	1,1	0,3
Бесструктурные почвы	–	9,6	2,9
Нет данных	–	0,8	0,2

Таблица 5

Площади почв с различными возможными условиями переуплотнения при обработке

Опасность переуплотнения почв	Площадь пашни	
	%	млн. га
Отсутствует	2,9	0,9
Слабо выражена	12,2	3,7
Умеренная	9,3	2,8
Сильно выражена	57,3	17,2
Чрезвычайно высокая	15,5	4,7
Нет данных	2,7	0,8

Наиболее важно выявить среди старопашотных почв средне- и сильнодеградированные, потому что как раз такие почвы не выгодно использовать в пашне (Сайко, 2000; Новаковский, 2000; Медведев, 2007). Решение этой задачи станет возможным, если наблюдения за физическими свойствами войдут в

программу мониторинга почв или хотя бы в программу агрохимической паспортизации. Нужно всего лишь 1 раз в 5 лет определить структурно-агрегатный состав и плотность сложения в равновесном состоянии (Медведев, 2002).

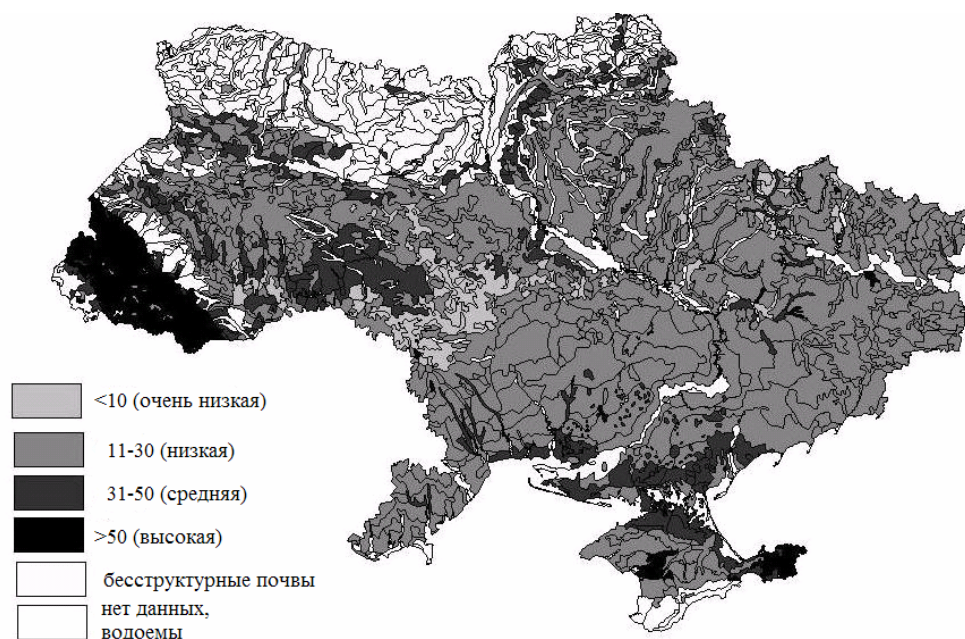


Рис. 6. Предрасположенность почв образовывать глыбы при основной плужной обработке, %

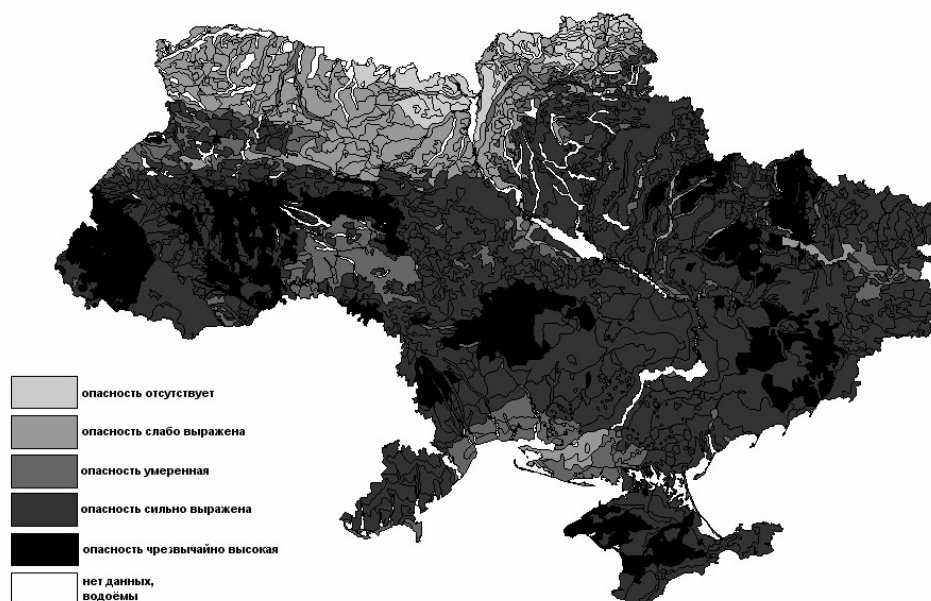


Рис. 7. Прогноз переуплотнения почв при обработке

Технические средства и технологии, содействующие и противостоящие деградации. Как ясно из изложенного, наиболее радикальный метод преодоления физической деградации – вывести часть земель из пашни под залужение и оставить ее в залежном состоянии на достаточно длительный срок. Не менее эффективна

минимизация технологий возделывания культур, которая должна включать обязательное использование маршрутизации движения всех машинно-тракторных средств по полям, исключая лишние ее проходы при обработке, проведении уборочно-транспортных работ, внесении органических и минеральных удобрений. Минимизация должна соблюдаться в отношении удельного давления ходовых систем машин (точнее, их давление не должно превышать национального стандарта – 4521:2006. В. Г. Євтенко, 2007), а также рабочих почвообрабатывающих органов. Последние должны проектироваться с учетом суммарной величины сопротивления сдвигу, внутреннему трению и сцеплению агрегатов агрономически полезного размера. При этом угол атаки рабочего органа и число рабочих поверхностей на нем должно по возможности снижаться. При этом гарантируется сохранение структурного состояния и устраняется возможность наиболее грубой деформации почвы по типу смятия-раздавливания, после которой восстановление исходных присущих данной почве параметров структуры замедляется либо становится невозможным (Медведев, 2007). К сожалению, вследствие непопулярности физико-механических исследований почв названные параметры остаются почти неизвестными для большинства пахотных почв страны. Однако, признавая важность преодоления физической деградации, мы должны планировать такого рода измерения. Более того, без знания этих же параметров невозможно рациональное конструирование агроландшафтов в целях защиты почв от эрозии. В США для внедрения наиболее совершенной системы моделирования эрозионных процессов WEPP (Water Erosion Predicting Project), в которой оценка эрозионной опасности устанавливается на основе изучения силовых взаимодействий в системе «внешнее воздействие – связность почвенного агрегата», пришлось создать несколько десятков физико-механических лабораторий. Только после этого была получена корректная оценка эрозионной опасности и в соответствии с ней выделены инвестиции для внедрения противозерозионных мероприятий.

Наконец, для сохранения физических свойств почв все виды обработок должны осуществляться при физической спелости почв. Диапазон влажности, при котором почва пребывает в мягкопластичном состоянии, достаточно широк, и время, при котором почва может сохранять такое состояние, позволяет произвести все виды обработок в благоприятном интервале крошения. Это способствует качественной разделке почвы без ее разрушения и минимизирует затраты (Медведев, 2007).

Не менее важно исключить многооперационные технологии, основанные на применении отдельных операций обработки, посева, внесения химических средств. Предпочтение нужно отдать комбинированным машинам с допустимым удельным давлением на почву, и комбинированной системе обработки, предусматривающей максимально возможное включение минимальных по числу и глубине способов обработки. Особого внимания заслуживают точные и нулевые технологии, почвозащитная сторона которых совершенно очевидна (Медведев, 2007, 2009, 2010). Нужно также привести структуру севооборотов в соответствие с зональными рекомендациями, использовать все имеющиеся способы пополнения почвы органическим веществом.

В заключение сделаем несколько важных замечаний, касающихся преодоления деградации пахотных почв страны.

Почвенный покров Украины на 60 % состоит из черноземов – уникальных тел природы по своему строению, свойствам и потенциальному плодородию. Эти почвы отличает сверхглубокий (более 1 м) гумусированный слой, прекрасно выраженная структура, почти идеальная плотность сложения, хороший и умеренный запас питательных элементов. Однако такие образцовые объекты сохранились лишь в целинных условиях. Оказалось, что лучшая в мире почва («царь почв» по В. В. Докучаеву) очень уязвима к антропогенному вмешательству и под влиянием особенно интенсивного вмешательства способна превратиться в выпаханную деградированную почву. На такой почве трудно реализовать потенциал

продуктивности (а это более 60 млн тонн зерна) и почти невозможно поддерживать комфортные экологические условия.

Почвы Украины достаточно хорошо изучены, однако это не стало препятствием для интенсивного развития процессов деградации. Около трети пашни эродировано, потеряно около четверти органического вещества, почти вся пашня в подпахотном слое переуплотнена, заметно снижаются запасы питательных веществ, многочисленные проблемы обнаруживаются на мелиорированных землях.

Главные причины неблагополучия – недооценка реальной угрозы, которую формирует деградация почв для настоящего и особенно будущих поколений, отсутствие действенных механизмов выполнения законов об охране почв, несбалансированное и научно необоснованное землепользование. Приходится констатировать, что деградация является очень сложной проблемой. Нужна переориентация всех слоев общества на решение этой проблемы, широкая просветительская деятельность и активная пропаганда знаний, гармонизация между наукой, властью и гражданским обществом, постепенное формирование нового отношения к почве.

Деградация почв характерна для стран с высокоинтенсивным земледелием. Деградация проявляется в дегумификации, обесструктурировании, переуплотнении, эрозии, подкислении, вторичном осолонцевании, засолении, и других негативных процессах, которые значительно ухудшают агрономические свойства почв, их продуктивность и, кроме того, приводят к экологически неблагоприятным следствиям (загрязнение водохранилищ, рек, сельскохозяйственной продукции).

Главная причина обострения проблемы в Украине – приостановка (фактически с 1991 г.) действия государственной и областных программ охраны земель. По основным параметрам программ к концу 80-х гг. были достигнуты весомые результаты. Однако в последующие годы объемы работ по повышению плодородия почв уменьшились до минимальных величин. Не осуществляются агролесомелиоративные меры, значительно уменьшились объемы применения минеральных и органических удобрений, немало земель не обрабатывается, засорено и вообще заброшено. Как следствие, усилилась эрозия, снизилось содержание питательных веществ, почвы стали кислее, ухудшились физические свойства.

К сожалению, проблеме мониторинга состояния почв в Украине не уделяется нужного внимания. Это относится к научной сфере, где из-за недостаточного финансирования не ведутся полноценные исследования распространения, причин возникновения и путей устранения деградации. Это же относится к законодательной и исполнительной власти, где не разработаны действенные механизмы исполнения почвозащитных законов. Вообще в обществе нет атмосферы максимального содействия сохранению почвенного покрова как незаменимого национального достояния. Средства массовой информации и просветительские учреждения безразличны к этой проблеме.

Украина имеет амбиции стать ведущей аграрной страной с большим экспортным потенциалом сельскохозяйственной продукции. И для этого есть немало благоприятных предпосылок, но перед этим нужно решить ряд проблем.

Чрезмерное расширение пашни, в том числе на малопродуктивных, деградированных и пойменных почвах, допущенное в прошлые годы, привело к нарушению экологически сбалансированного соотношения сельскохозяйственных угодий, лесов и водохранилищ и обусловило неблагоприятные следствия техногенной нагрузки на экосферу.

Экологизация образования в почвоведении позволит по-новому взглянуть на вопросы деградации почв. Ведь деградация есть следствие, прежде всего избыточной агрономизации (освоенности) земельных ресурсов. В природных условиях почва, как правило, находится в равновесном состоянии, она устойчива в течение достаточно длительного времени, по крайней мере, до того, пока не меняются факторы почвообразования. В природных условиях почва как тело природы обладает значительным потенциалом устойчивости, способностью к саморегуляции, поддержанию основных своих параметров и свойств во времени. При сельскохозяйственном использовании почва попадает в неравновесное состояние, ибо

баланс биофильных элементов обычно дефицитен, почва подвержена эрозии, загрязнению и другим деградациям (обесструктуриванию, переуплотнению и др.). При достаточно длительном неравновесном состоянии изменения приобретают необратимый характер, и почва трансформируется в антропогенно преобразованное деградированное тело. При этом продуктивная и экологическая функции нарушаются. Это общие законы эволюции освоенных почв независимо от зоны и социального устройства страны.

Деградация – почти неизбежный спутник человечества на протяжении многих веков его развития. Различия в этом процессе, конечно, есть и зависят они, главным образом, от уровня развития общества, понимания им закономерностей формирования почв, экономического состояния. Деградацию почв нужно рассматривать как результат неблагоприятного состояния общества, негармонизированных связей между разными его слоями, как результат недостаточных знаний и неумения организовать соответствующую работу.

Украина имеет выбор: идти по пути Латинской Америки или Африки, где плодородие почв низко и практически отсутствуют какие-либо программы по его повышению, либо по пути Западной Европы и Северной Америки, где имеется высокая культура управления земельными ресурсами, принимаются необходимые меры, упреждающие деградацию. Ответ, полагаем, очевиден. Нужны лишь последовательные, согласованные, систематические действия власти и всех слоев общества. Что нужно сделать? Главное здесь следующее на ближайшие годы:

- понизить распаханность и приостановить деградацию;
- добиться хотя бы простого воспроизводства плодородия почв;
- минимизировать (нормировать) механические и химические воздействия.

Эти меры, несомненно, повысят экологическую устойчивость почвенного покрова, повысят его продуктивность. Они составят основу новой системы управления земельными ресурсами.

Реализация любых объективных механизмов контроля состояния почв должна найти поддержку в обществе. Для этого нужно повысить рейтинг проблемы защиты и воспроизводства почв в обществе. Необходимо, чтобы государство имплементировало стратегию сбалансированного землепользования, довело ее до каждой области, района, сельхозпредприятия, отыскало средства для финансирования (за счет земельного налога и за счет средств землепользователей). Такая стратегия должна стать базой для отработки и внедрения мероприятий сохранения уникального почвенного покрова, который имеет Украина. Действия государственных органов власти сверху вниз нужно подчинить выполнению стратегии. Этому же должна содействовать деятельность политической элиты общества, высшего, среднего и нижнего звеньев руководства.

В условиях частной собственности на землю значительно возрастает роль общественной поддержки, которая обеспечивается за счет участия организаций, союзов, средств массовой информации. Общественные организации (научные общества, союзы товаропроизводителей, разные фонды экологического, правового и других направлений) как атрибут гражданского демократического общества практически не влияют на решение вопросов рационального использования и сохранения почвенного покрова как важнейшего национального достояния Украины. Их значительный потенциал требуется использовать.

ВЫВОДЫ

Физическая деградация – это диспергация (разрушение) органо-минеральных связей, ухудшение агрегирующей способности, снижение водоустойчивости, механической прочности и ухудшение порового пространства агрегатов, образование корки и глыбистости на поверхности, переуплотнение более глубоких слоев, ухудшение водно-воздушного режима.

Объективным диагностическим признаком физической деградации является потеря почвой способности восстанавливать присущие ей модальные характеристики

структурного состава и плотности сложения в природном состоянии. Несмотря на широкое распространение физически деградированных почв их деградация является временной, ибо при длительном содержании почв в режиме залежи физические свойства, характерные для почв в природном состоянии, восстанавливаются. Об этом же свидетельствуют практически одинаковые для целины и пашни факторы дисперсности почв по Н. А. Качинскому, с помощью которых, как известно, оценивают потенциальные возможности почв к образованию структуры.

Эффективным профилактическим средством, противостоящим физической деградации, является минимизация механического воздействия на почву и приведение его в соответствии с допустимым давлением на почву машинно-тракторных агрегатов и прочностью (структурной связностью) агрегата агрономически полезного размера.

Для преодоления физической деградации пашни страны нужна активизация почвозащитных функций систем земледелия (прежде всего, обработки, севооборотов и удобрений), а также усилий всего общества.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Березин П. М. Физическая деградация почв / П.М. Березин, И.И. Гудима // Деградация и охрана почв. – М. : Изд-во МГУ, 2002. – С. 168-196.

Вершинин П. В. Твердая фаза почвы как основа ее физического режима / П. В. Вершинин // Основы агрофизики. – М. : Гос. изд. физико-математической литературы, 1959. – С. 209-404.

Деградация и охрана почв / Под ред. Г. В. Добровольского. – М. : Изд-во МГУ, 2002. – 654 с.

Євгенко В. Техніка сільськогосподарська мобільна. Норми дії ходових систем на ґрунт ДСТУ 4521:2006 / В. Євгенко, Т. Ліндіна, В. Медведєв, В. Цибулько. – К. : Держспоживстандарт України, 2007. – 4 с.

Кузнецова И. В. О некоторых критериях оценки физических свойств почв / И. В. Кузнецова // Почвоведение. – 1979. – № 3. – С. 48-57.

Лактіонова Т. М. Структура та порядок використання бази даних «Властивості ґрунтів України» (Інструкція) / Т. М. Лактіонова, В. В. Медведєв, К. В. Савченко та ін. – Х. : Апостроф, 2010. – 96 с.

Медведєв В. В. Мониторинг почв Украины (Концепция, предварительные итоги, задачи) / В. В. Медведєв. – Х. : Антиква, 2002. – 428 с.

Медведєв В. В. Нульовий обробіток в європейських країнах / В. В. Медведєв. – Х. : ТОВ «ЕДЕНА», 2010. – 202 с.

Медведєв В. В. Оптимизация агрофизических свойств черноземов / В. В. Медведєв. – М. : ВО «Агропромиздат», 1988. – 160 с.

Медведєв В. В. Структура почвы. Методы. Генезис. Классификация. Эволюция. География. Мониторинг. Охрана / В. В. Медведєв. – Х. : Городская типография, 2008. – 406 с.

Медведєв В. В. Физические свойства и глубина залегания плужной подошвы в разных типах почв / В. В. Медведєв // Почвоведение. – 2011. – № 11. – С. 1487-1495.

Медведєв В. В. Почвенно-технологическое районирование пахотных земель Украины / В. В. Медведєв, Т. Н. Лактіонова. – Х. : Изд-во 13 типография, 2007. – 395 с.

Медведєв В. В. Плотность сложения почв. Генетический, экологический и агрономический аспекты / В. В. Медведєв, Т. Е. Лындина, Т. Н. Лактіонова. – Х. : Городская типография, 2004. – 244 с.

Медведєв В. В. Влияние орошения на изменение физических и физико-механических свойств черноземных почв / В. В. Медведєв, В. Г. Цибулько // Мелиорация почв Русской равнины. – М. : Наука, 1982. – С. 81-87.

Новаковський Л. Я. Консервація деградованих і малопродуктивних земель України / Л. Я. Новаковський, А. П. Канаш, В. О. Леонець // Вісник аграрної науки. – 2000. – № 11. – С. 54-59.

Переуплотнение пахотных почв (причины, следствия, пути уменьшения) / Под ред. чл.-кор. АН СССР В. А. Ковды. – М. : Наука, 1987. – 216 с.

Сайко В. Ф. Вилучення з інтенсивного обробітку малопродуктивних земель та їх раціональне використання. Методичні рекомендації / В. Ф. Сайко, В. В. Медведєв і ін. – К. : Аграрна наука, 2000. – 38 с.

Bryk M. Indices of shape in the classification of soil structure // Polish Journal of Soil Science. – 2004. – V. 37, no. 1. – 1-10.

Bryk M., Slowinska-Jurkewicz A., Kolodziej B. Wplyw systemy uprawy na zawartosc wengla organicznego w glebie. Ann. UMCS.E. – 2004. – 59,1, 345-352.

Bryk M., Slowinska-Jurkewicz A., Medvedev V.V. – 2012.

Guidelines for General Assessment of the Status of Human-induced Soil Degradation (Ed. By L.R.Oldeman. Int. Soil Reference and Inf. Centre. Wageningen. April. – 1988. № 8814. – 12 p.

Horn R., Fleige H. Prediction of the mechanical strength and ecological properties of subsoils for a sustainable landuse. Proc. of the workshop “ Experiences with the impact of subsoil compaction. Uppsala. Sweden. 2000. – P. 109-121.

Lynden G.W.J. van. Guidelines for the Assessment of Soil Degradation in Central and Eastern Europe (SOVEUR Project). Revised edition, 1997. ISRIC.Wageningen. – P. 22.

Slowinska-Jurkewicz A., Kolodziej B., Bryk M. Wplyw zabiegow agrotechnicznych na structure gleby pylowey – ocena morfometryczna macroporow. Ann. UMCS.E. – 2004, 59,1, 329-335.

Надійшла до редколегії 12.04.12

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРА ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ НА ЭВОЛЮЦИЮ ПРОФИЛЯ ИДЕАЛЬНОГО ПОДЗОЛА (МОДЕЛЬ УИП-5)

¹Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова, Россия

²Московский инженерно-физический институт, Россия

³Институт ядерного синтеза РНЦ «Курчатовский Институт», Россия

⁴Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша РАН, Россия

Продолжено исследование свойств математических моделей «идеального подзола» (ИП) типа УИП-5 и УИП-6. С этой целью рассчитаны решения с переменными во времени граничными условиями (модель сезонных вариаций), а также затронут вопрос о влиянии нелинейности коэффициента диффузии влаги на эволюцию профиля ИП.

Ключевые слова: математическая модель, идеальный подзол, граничные условия.

Л. О. Карпачевський¹, І. І. Долманова², А. І. Морозов³, В. В. Савельєв⁴

¹Московський державний університет ім. М. В. Ломоносова, Росія

²Московський інженерно-фізичний інститут, Росія

³Інститут ядерного синтезу РНЦ «Курчатовський Інститут», Росія

⁴Інститут прикладної математики ім. М. В. Келдыша РАН, Росія

ВПЛИВ ХАРАКТЕРУ ГРАНИЧНИХ УМОВ НА ЕВОЛЮЦІЮ ПРОФІЛЮ ІДЕАЛЬНОГО ПІДЗОЛУ (МОДЕЛЬ РІП)

Продовжено дослідження властивостей математичних моделей «ідеального підзолу» (ІП) типу РІП-5 та РІП-6. З цією метою розраховано рішення зі змінними в часі граничними умовами (модель сезонних варіацій), а також розглядається питання про вплив нелінійності коефіцієнту дифузії вологи на еволюцію профілю ІП.

Ключові слова: математична модель, ідеальний підзол, граничні умови.

L. O. Karpachevskiy¹, I. I. Dolmanova², A. I. Morozov³, V. V. Savelyev⁴

¹M. V. Lomonosov Moscow State University, Russia

²Moscow Physics-Engineering Institute, Russia

³Nuclear fusion institute RSC «Kurchatov Institute», Russia

⁴M. V. Keldysh Applied Mathematics Institute of RAS, Russia

THE IMPACT OF THE BOUNDARY CONDITIONS ON THE EVOLUTION OF IDEAL PODZOLE PROFILE (Model EIP-5)

The research of properties of mathematical models of the «ideal podzol» (IP) such as EIP-5 and EIP-6 has been continued. To this end the solutions have been designed with time-variable boundary conditions (model of seasonal variations). It has been also touched upon the issue of the impact of nonlinearity of moisture diffusion coefficient on the evolution of the IP profile.

Keywords: mathematical model, ideal podzol, boundary conditions.

В статьях (Морозов, 1988а, 1988б, 1998, 2007) были сформулированы системы «уравнений идеального подзола» (ИП), которые позволяют рассчитать модельные профили подзолов. Для выполнения таких расчётов участвующие в почвенных процессах компоненты группируются в «связки» близких по своим функциональным свойствам субстанций и, благодаря этому, необозримое множество разных компонент превращается в систему небольшого числа связей. Так система УИП-5 содержит всего 5 связей, а система УИП-6 содержит 6 связей. Вот эти связи: «влага» (w) – объединяет все формы влаги, «фульво» (f) – это совокупность агрессивных кислот, растворимые «фульваты» (c), выпавшие в осадок «фульваты» (F), «материнская порода» (μ), нерастворимая часть разрушаемой материнской породы – «кремнёвка» (μ^*).

Но мало выделить связи. Для расчёта профиля почвы необходимо знать ещё много характеристик их поведения (скорости перемещения, времени жизни, скорости реакции и др.). Все эти параметры ниже называются «кинетическими

коэффициентами». К сожалению, сегодня эти коэффициенты мало изучены. Поэтому сегодня расчёты профиля необходимо делать многократно, варьируя значения указанных коэффициентов, стремясь получить согласие с натурой.

В работе Л. О. Карпачевского и др. (2009) были опубликованы результаты расчётов модели «идеального подзола» УИП-6. В этих расчётах предполагались постоянными граничные условия, а перенос влаги подчиняющимся линейному закону Дарси

$$v_w w = -D_w \text{grad } w$$

то есть с постоянным коэффициентом диффузии (D_w). Расчёты проводились при различных значениях кинетических коэффициентов (D_w , интенсивности поглощения влаги корнями и т.п.). Эти расчёты, не претендуют на то, чтобы быть базой для построения систематики возможных типов профилей «идеального подзола», поскольку для этого необходимо провести несравнимо большее число расчётов. Цель опубликованных результатов – наглядно продемонстрировать возможности построения профилей подзола при разных кинетических параметрах. То есть это «проба пера» в отношении моделей УИП-6.

В данной статье продолжен анализ систем УИП-5 и УИП-6. Здесь приводятся результаты расчёта эволюции профиля ИП при переменных условиях на верхней границе почвенного слоя. Эти расчёты выполнены в упрощённой системе УИП-5

Выбор модели УИП-5 для анализа нестационарного решения, объясняется тем, что сегодня не очень ясно как ведут себя выпавшие в осадок соединения в условиях «промывки» их фульвокислотами «зимой» при движении почвенного раствора из глубины к поверхности почвы.

Вторая группа расчётов выполнена на модели УИП-6 в стационарных условиях, но с переменным коэффициентом диффузии, зависящим от влажности по формуле, близкой к формуле Аверьянова. Этот расчёт показывает, что характер почвенного профиля сравнительно слабо зависит от вида $D(w)$.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Уравнения, использованные в данной работе, полностью аналогичны соответствующим уравнениям в работах А. И. Морозова (1988б) и Л. О. Карпачевского и др. (2009). Однако для удобства чтения статьи выпишем их здесь целиком.

УИП-5 в одномерном случае имеет вид

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(v_w w) = -q_w w; \quad v_w w = -D_w \frac{\partial w}{\partial x} \quad (1)$$

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(v_w f) = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_f \frac{\partial f}{\partial x} \right) - \beta_f \mu f \quad (2)$$

$$\frac{\partial c}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(v_w c) = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_c \frac{\partial c}{\partial x} \right) + \beta_c \mu f \quad (3)$$

$$\frac{\partial \mu}{\partial t} = -\beta_\mu \mu f \quad (4)$$

$$\frac{\partial \mu^*}{\partial t} = \beta_{\mu^*} \mu f \quad (5)$$

Здесь использованы принятые ранее обозначения: w – «влага», f – «фульво», c – «растворённые фульваты», μ – «материнская порода», μ^* – нерастворимый продукт разрушения материнской породы («кремнезём»).

В этой модели учитывается выпадение нерастворимого осадка, концентрацию которого обозначим буквой F . Выпадение осадка начинается, когда концентрация растворимых фульватов $s = \frac{c}{w}$ станет равной или превысит некоторую величину s^* .

В целом предполагается следующая структура расчётной области (рис. 1). Глубина – $L = 1$ м. Координата x направлена от поверхности земли ($x=0$) вглубь. На поверхность выпадают влага (w_0), фульво (f_0), растворимые фульваты (c_0). При $x=L$ ставим условия протекания влаги в форме $\frac{\partial w}{\partial x} = -K_w$. Скорость перемещения f и c определяем переносом этих субстанций влагой и диффузией относительно влаги:

$$v_f = v_w - D_f \text{ grad } f \quad (6)$$

$$v_c = v_w - D_c \text{ grad } c \quad (7)$$

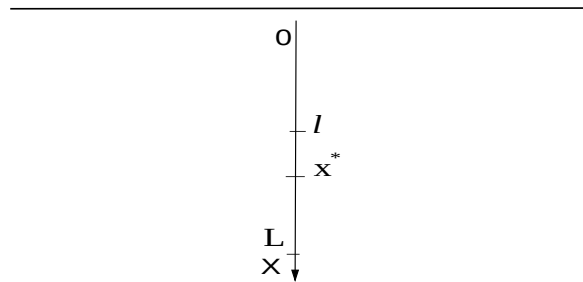


Рис. 1. Общая схема расчетной области

На рис. 1 изображена граница $x = l$, где оканчиваются корни, и координата x^* где концентрация фульватов достигает критического значения s^* и далее происходит их выпадение в осадок. Выше этой границы процессы описываются фактически системой УИП-5. Однако ниже система уравнений изменяется, хотя уравнения для w , f , μ и μ^* остаются прежними.

Для наглядности выпишем всю систему при $x > x^*$.

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(D_w \frac{\partial w}{\partial x} \right) = -q_w w \quad (8)$$

$$\frac{\partial f}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (v_f f) = \frac{f}{\tau_f} - \beta_f \mu f \quad (9)$$

$$\frac{\partial \mu}{\partial t} = -\beta_\mu \mu f \quad (10)$$

$$\frac{\partial \mu^*}{\partial t} = \beta_{\mu^*} \mu f \quad (11)$$

Однако для фульватов в растворе и в осадке должны быть иные уравнения. Прежде всего, считаем, что концентрация фульватов в растворе всё время находится на уровне критической $c = w s^*$.

Концентрация выпадающих в осадок фульватов определяется из закона сохранения массы фульватов. Тогда, как показано в работе Л. О. Карпачевского и др. (2009)

$$\frac{\partial F}{\partial t} = c^* w \left(q_w - \frac{1}{\tau_c} \right) + c^* \frac{\partial}{\partial x} \left(D_c \frac{\partial w}{\partial x} \right) - \frac{F}{\tau_F} + \beta_F \mu f \quad (12)$$

Здесь q_w – интенсивность поглощения влаги корнями. Площадь корней считается постоянной при $x \leq l$ и равной нулю при $x > l$. Численное решение уравнений УИП-6М проведено разностными методами. Применялась противопотоковая явная аппроксимация конвективных членов и симметричная аппроксимация вторых пространственных производных с верхнего временного слоя.

Системы трехдиагональных уравнений решаются стандартным методом прогонки (Калиткин, 1978).

ЭВОЛЮЦИЯ ПОЧВЕННОГО ПРОФИЛЯ В НЕСТАЦИОНАРНЫХ УСЛОВИЯХ

В предыдущих публикациях всегда условия на границе предполагались постоянными. То есть предполагалось, что непрерывно накапливает постоянный по интенсивности дождь. Поступающая влага увлекает вглубь почвы фульваты и фульво, образующиеся непрерывно на поверхности. Разумеется, это сильное допущение. Поэтому естественно провести сравнение профилей идеального подзола при наличии постоянных и сезонно изменяющихся граничных условий на поверхности земли. Разумеется, сохраним общее количество поступающих влаги и фульво за сезон.

Уточним постановку задачи. Аппроксимируем периодичность выпадения w и f зависимостью

$$w(0,t) = w_0 \left(1 - 0,9 \cos 2\pi \frac{t}{T}\right) \quad (13)$$

$$f(0,t) = f_0 \left(1 - 0,9 \cos 2\pi \frac{t}{T}\right) \quad (14)$$

Здесь T – «год», который мы принимаем равным $T=365$ суток. В начальный момент ($t=0$). На поверхности $w(0,0) = 0,1w_0$ и $f(0,0) = 0,1f_0$. Этот момент времени сопоставим с серединой зимы, условно с 1 января. Через полгода предполагаются сильные дожди и количество влаги и фульво возрастет.

Очевидно влага и фульво, выпадающие по закону $w(0,t) = w_0$ и $f(0,t) = f_0$ соответствуют постоянному поступлению w_0 и f_0 .

Расчёты проводились при следующих параметрах: $w_0 = 6 \cdot 10^5$ г/м, $f_0 = 300$ г/м³, $c_0 = 30$ г/м³, $D_w = 0,01$ м²/сут, $D_f = D_c = 0,0001$ м²/сут, $q = 0,1$ л/сут, $K = 0,1$ л/м, $\tau_f = 30$ сут, $\tau_c = \tau_F = 60$ сут, $\beta_\mu = 1,5 \cdot 10^{-8}$ м³/г*сут. Остальные β того же порядка. Критическое значение концентрации $s^* = 2,5 \cdot 10^{-3}$.

Результаты проведённых расчётов представлены на рис. 2, 3, 4.

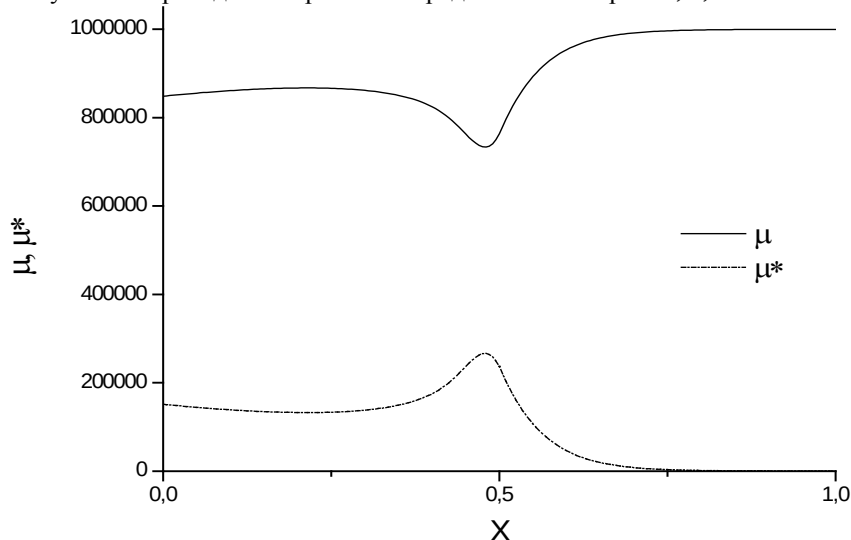


Рис. 2. Профили распределения плотности материнской породы и кремнезёма для постоянных граничных условий

На рис. 2 изображено распределение $\mu(x)$ и $\mu^*(x)$ через 100 лет для стационарного режима.

На рис. 3 те же зависимости $\mu(x)$ и $\mu^*(x)$ представлены для периодического режима. Видно, что распределения весьма близки. Другое дело, если рассматривать распределения параметров в течение одного сезона. На рис. 4 и 5 даны распределения для разных моментов времени. Здесь наблюдаются своеобразные «волны» концентрации влаги (рис. 4) и фульво (рис. 5). Аналогично фульво ведут себя и фульваты.

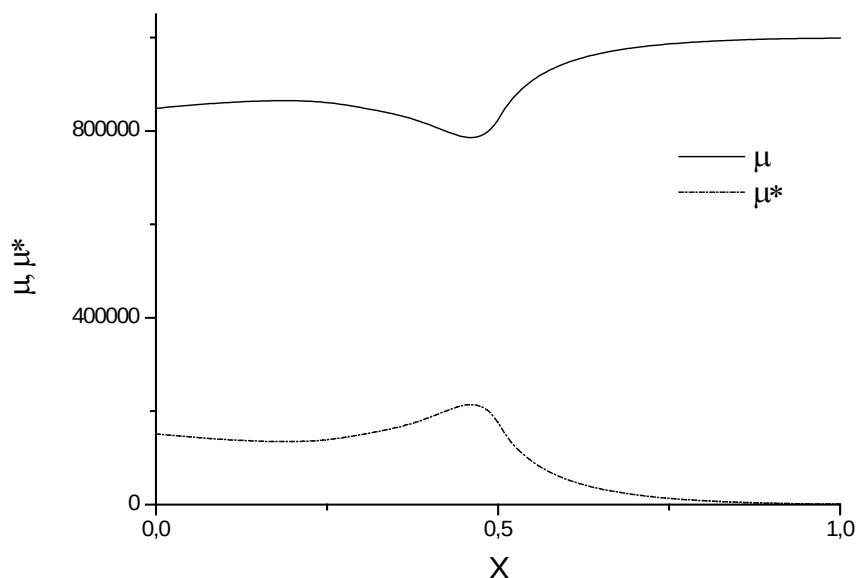


Рис. 3. Профили распределения плотности материнской породы и кремнезёма при периодических граничных условиях

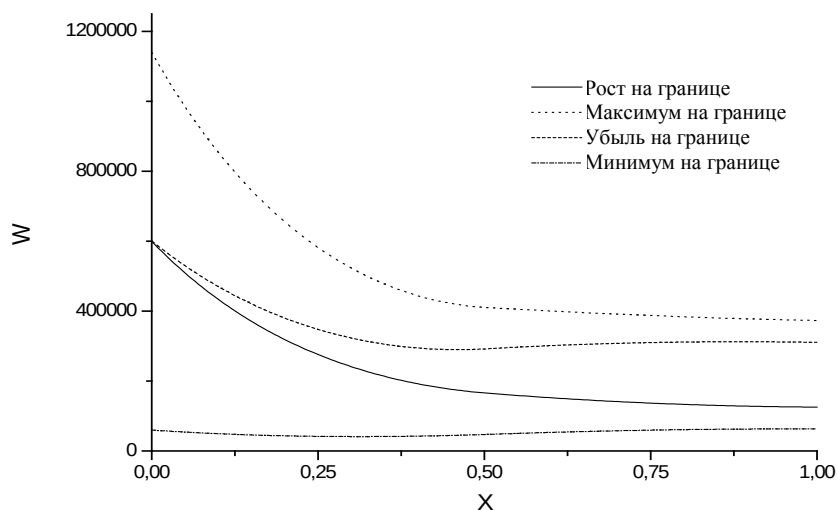


Рис. 4. Профили распределения плотности влаги для различных моментов времени

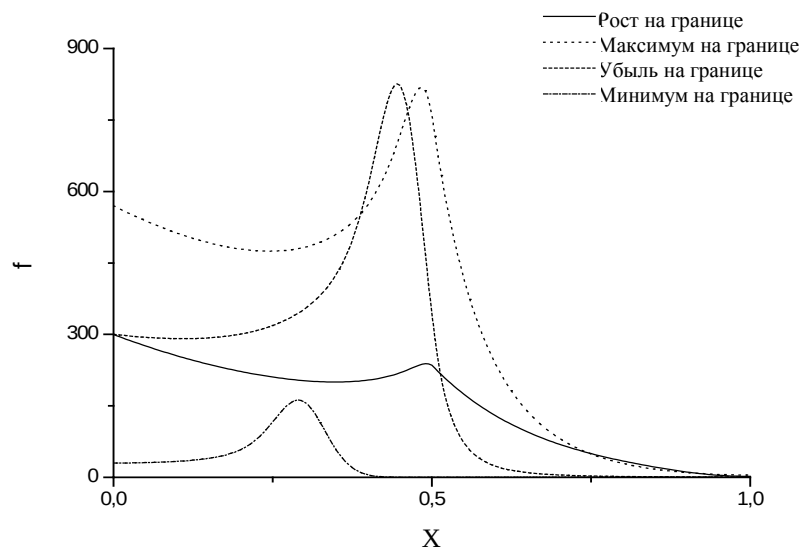


Рис. 5. Профили распределения плотности фульво для различных моментов времени

ВЛИЯНИЕ НЕЛИНЕЙНОСТИ ДИФфуЗИИ ВЛАГИ НА ПРОФИЛИ

В реальных условиях перенос влаги в почве носит, как правило, диффузионный характер. Но при этом коэффициент диффузии является весьма сложной функцией плотности влаги w . Для того, чтобы хотя бы почувствовать влияние зависимости D_w от w на формирование профиля ИП, был выполнен ряд расчётов с коэффициентами диффузии вида

$$D_w = D_1 \left[1 + \alpha \left(\frac{w}{w_0} \right)^p \right].$$

Здесь D_1, α, p – постоянные. Расчёты проводились при $D_1 = 0,005 \text{ м}^2 / \text{сут}$; $0,01 \text{ м}^2 / \text{сут}$ и $D_1 = 0,0025 \text{ м}^2 / \text{сут}$, $\alpha = 1$, $p = 2; 3,5; 5$. Остальные параметры оставались такими же, как в пункте 3. Результаты расчётов представлены на рис. 6, 7, 8.

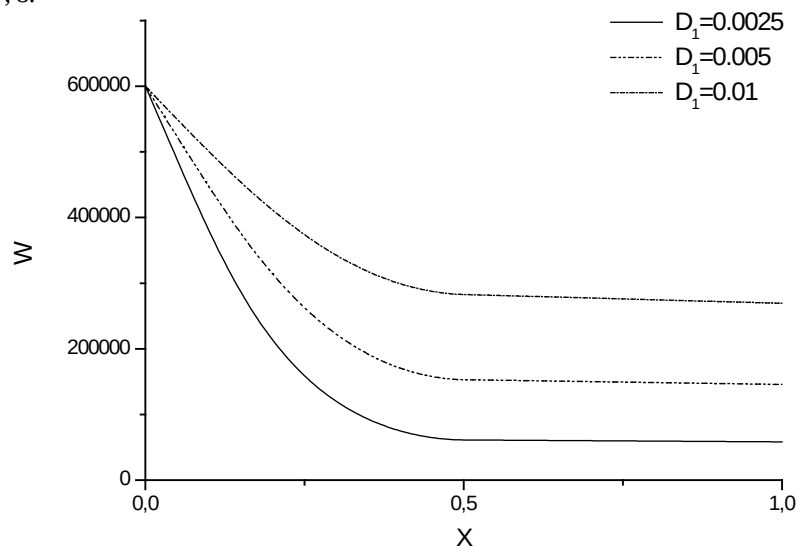


Рис. 6. Профили распределения плотности влаги при различных коэффициентах диффузии влаги при различных значениях D_1 и $p = 3.5$

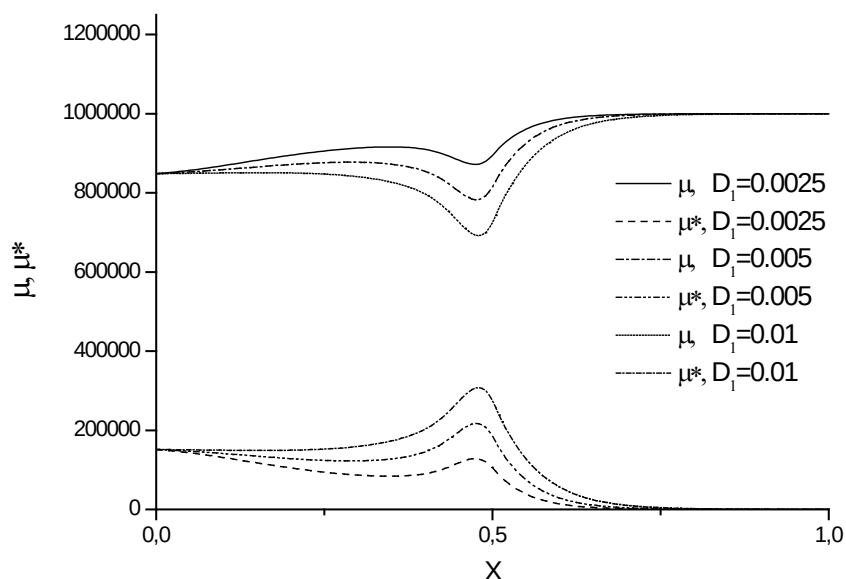


Рис. 7. Профили распределения плотности материнской породы и кремнезёма при различных коэффициентах диффузии влаги D_1

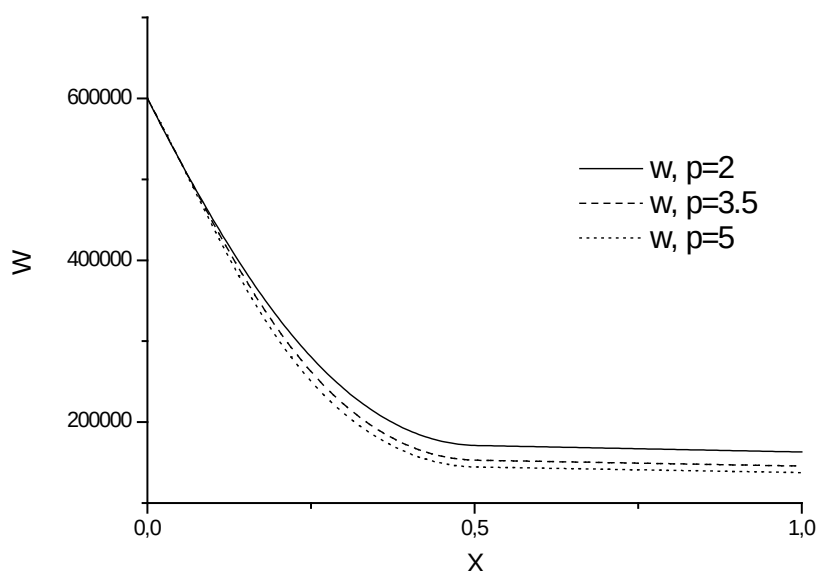


Рис. 8. Профили распределения плотности влаги при различных коэффициентах диффузии влаги p

Распределение влаги при разных значениях D_1 и $p = 3.5$ изображены на рис. 6. Различия кривых $w(x)$ объясняется эффективным усилением роли поглощения влаги корнями. На рис. 7 представлено состояние профилей материнской породы $\mu(x)$ и кремнезёма $\mu^*(x)$ после 100 лет эрозии при разных значениях D_1 . Результат естественен, чем больше коэффициент диффузии D_w , тем эрозия идёт интенсивней.

Наконец, несколько неожиданными явились результаты расчётов распределения влаги спустя 100 лет $w(x, 100)$ при разных показателях p , приведённые на рис. 8.

Соответственно этому получились и профили эрозии почвы за 100 лет (рис. 9). Эти результаты вызваны сравнительно большим значением D_1 и сильной зависимостью D_w от w при выбранных величинах p .

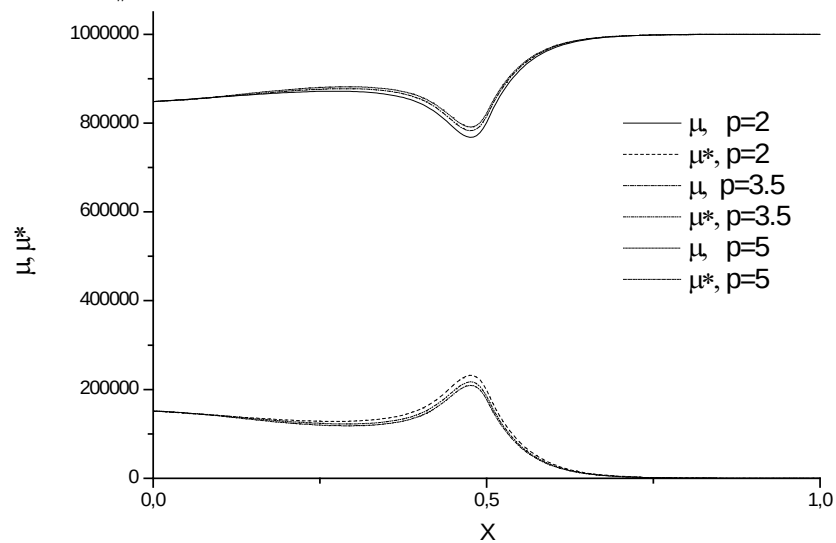


Рис. 9. Профили распределения плотности материнской породы и кремнезёма при различных коэффициентах диффузии влаги p

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведённые в первой части статьи результаты расчёта формирования профиля идеального подзола (ИП) при периодических и эквивалентном стационарном граничных условиях показали хорошие соответствия $\mu_{\text{период}}(t)$ и $\mu_{\text{стац}}(t)$, если средние значения потоков на дневную поверхность влаги ($\langle w \rangle$) и фульво ($\langle f \rangle$) одинаковы

$$\langle w_T \rangle_{\text{пер}} = (w_T)_{\text{стац}}$$

$$\langle f_T \rangle_{\text{пер}} = (f_T)_{\text{стац}}$$

Иными словами, процессы формирования профиля являются, в общем, сильным усредняющим фактором. Однако тонкая структура профиля, которая здесь не анализируется, вполне может являться памятью об изменении граничных условий, как об этом говорил В. О. Таргульян. Этот вопрос требует специального моделирования. Что касается влияния зависимости коэффициента диффузии влаги от её концентрации, то здесь также, как показывают проведённые расчёты, наблюдается зависимость от величины этого коэффициента, а не от деталей его функциональной зависимости от w . Но в целом вопрос нуждается в более полном исследовании.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Калиткин Н. Н. Численные методы / Н. Н. Калиткин // М. : Наука, 1978.
 Карпачевский Л. О. Модель горизонта В в профиле подзола / Л. О. Карпачевский, Е. В. Кравченко, А. И. Морозов и др. // Грунтознавство. – 2009. – Т. 10, № 1-2. – С. 31-37.
 Морозов А. И. Замкнутая математическая модель идеального подзола / А. И. Морозов // ДАН СССР. – 1988а. – Т. 302, № 2.
 Морозов А. И. Модель эволюции «идеального подзола» в стационарных условиях / А. И. Морозов, В. В. Савельев, Е. М. Самойлова и др. // Вестник МГУ. – 1998. – № 3. – С. 17.
 Морозов А. И. О почве и почвоведении. Взгляд со стороны / А. И. Морозов // М. : Геос, 2007.
 Морозов А. И. О природе почвы / А. И. Морозов // Информационные проблемы изучения биосферы. – М. : Наука, 1988б.

Надійшла до редколегії 15.11.11

**ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ЕОЛОВО-ГРУНТОВИХ ВІДКЛАДІВ
ТА ПОХОВАНИХ ЧОРНОЗЕМІВ ПРИАЗОВСЬКИХ
ЛІСОВИХ КУЛЬТУРБІОГЕОЦЕНОЗІВ ПРИАЗОВ'Я***Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара*

Наведено результати досліджень фізичних властивостей еолово-грунтових відкладів та похованих чорноземів приазовських лісових культурбіогеоценозів в умовах Приазов'я. Встановлено, що еолові відклади характеризуються більш легким гранулометричним складом порівняно з похованими чорноземами приазовськими. В еоловому матеріалі та похованих ґрунтах з глибиною спостерігається збільшення величин щільності та щільності твердої фази. Еолово-грунтові відклади порівняно з похованими чорноземами приазовськими відрізняються зменшеними величинами липкості та збільшеними величинами зв'язності та опірності до здавлювання. Для еолових відкладів та похованих чорноземів приазовських характерні сприятливі водно-фізичні властивості. Еоловий матеріал відрізняється збільшеними величинами температуропровідності та теплопровідності та зменшеними величинами теплоємності порівняно з похованими чорноземами приазовськими.

Ключові слова: фізичні властивості, еолово-грунтові відклади, поховані чорноземи приазовські, лісові культурбіогеоценози.

В. А. Горбань, А. А. Михайличенко

*Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара***ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЭОЛОВО-ПОЧВЕННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ И ПОГРЕБЕННЫХ
ЧЕРНОЗЕМОВ ПРИАЗОВСКИХ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУРБИОГЕОЦЕНОЗОВ ПРИАЗОВЬЯ**

Представлены результаты исследований физических свойств эолово-почвенных отложений и погребенных черноземов приазовских лесных культурбиогеоценозов в условиях Приазовья. Установлено, что эоловые отложения характеризуются более легким гранулометрическим составом в сравнении с погребенными черноземами приазовскими. В эоловом материале и погребенных почвах с глубиной наблюдается увеличение величин плотности и плотности твердой фазы. Эолово-почвенные отложения в сравнении с погребенными черноземами приазовскими отличаются сниженными величинами липкости и повышенными величинами связности и сопротивления сдавливанию. Для эоловых отложений и погребенных черноземов приазовских характерны благоприятные водно-физические свойства. Эоловый материал отличается повышенными величинами температуропроводности и теплопроводности и пониженными величинами теплоемкости в сравнении с погребенными черноземами приазовскими.

Ключевые слова: физические свойства, эолово-почвенные отложения, погребенные черноземы приазовские, лесные культурбиогеоценозы.

V. A. Gorban, A. A. Mikhajlichenko

*O. Gonchar Dnipropetrovsk National University***PHYSICAL PROPERTIES OF EOLIAN DEPOSITS AND BURIED CHERNOZEMS
OF PRYAZOVYA ARTIFICIAL FOREST ECOSYSTEMS**

The research findings of physical properties of eolian deposits and buried chernozems of Pryazovya artificial forest ecosystems are presented. It is established that eolian deposits are characterized by lighter granulometric composition in comparison with buried chernozems of Pryazovya. With the depth in eolian material and buried soils the increasing of density and solid phase density is observed. Eolian deposits in comparison with buried chernozems of Pryazovya are notable for lower quantities of stickiness and higher quantities of cohesion and constriction resistance. Eolian deposits and buried chernozems of Pryazovya are characterized by favourable water-physical properties. Eolian material is notable for high quantities of thermal diffusivity and thermal conduction and low quantities of thermal capacity in comparison with buried chernozems of Pryazovya.

Key words: physical properties, eolian deposits, buried chernozems of Pryazovya, artificial forest ecosystems.

В умовах степової зони України вітрова ерозія (дефляція) є одним з найголовніших факторів деградації чорноземних ґрунтів. Вітри зі швидкістю понад 15 м/с спричиняють виникнення пилових бур. Протягом останніх 40 років, в результаті створення в післявоєнні роки діючої системи полезахисних насаджень, пилові бурі в степовій зоні не проявлялися. Рецидив цього явища мав місце в 2007 р., коли пилова буря охопила територію 125 тис. км², що складає 50 % загальної площі степової зони України (Зубець, 2008; Травлєєв, 2008; Чорний, 2008). Це свідчить про необхідність вживання термінових заходів щодо захисту, відновлення та додаткового створення стійкої системи полезахисних насаджень, оскільки при подальшій бездіяльності та знищенні лісових насаджень степова зона поступово перетвориться на півпустелю (Белова, 1999; Травлєєв, 2010).

Як відомо, під час пилових бур за один-два дні зноситься верхній родючий шар ґрунту на глибину до 25 см (Высоцкий, 1962; Ярмольська, 1971; Можейко, 2000). Ще одним наслідком прояву пилових бур є утворення в захисних лісових культурбіогеоценозах потужних відкладів еолово-ґрунтового матеріалу, властивості якого залишаються недостатньо вивченими.

Метою роботи є дослідження фізичних властивостей еолово-ґрунтових відкладів та похованих чорноземів приазовських лісових культурбіогеоценозів в умовах Приазов'я.

ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктом дослідження є еолово-ґрунтові відклади та поховані ними чорноземи приазовські лісових культурбіогеоценозів в умовах Приазов'я, один з яких знаходиться на відстані 15 км на схід від с. Камишевате (Першотравневий р-н, Донецька обл.) – пробна площа ЧП–В1, другий – на відстані 2 км на захід від с. Червоне Поле (Бердянський р-н, Запорізька обл.) – пробна площа ЧП–В2.

Лісотипологічна формула лісосмуги з пробною площею ЧП–В1 (за О. Л. Бельгардом, 1971): $\frac{СГ_1}{\text{напівосвіт.} - III} 10 \text{ Ак. б.}$

Тип лісорослинних умов – суглинок сухуватий (СГ₁).

Тип світлової структури – напівосвітлена.

Тип деревостану – 10 Ак. б., III ступінь розвитку, зімкнутість 0,4, середня висота 4 м.

Чагарниковий підлісок відсутній.

Трав'янистий покрив представлений пірієм повзучим (*Elytrigia repens* L.), з проективним покриттям 90 %.

Макроморфологічна характеристика ґрунтового розрізу ПП ЧП–В1

Neol	0–15 см	Еоловий, темно-сірий, сухуватий, дрібногрудкуватої структури, суглинистий, пухкий, значна насиченість корінням трав'янистої рослинності. Перехід за щільністю та підстилкою у напіврозкладеному стані.
[Н]	15–47 см	Гумусовий горизонт похованого ґрунту. Сірий, сухий, дрібногрудкуватої структури, суглинистий, ущільнений, значно насичений корінням. Перехід за щільністю.
[Нр]	47–140 см	Сірий, сухий, дрібногрудкуватий, суглинистий, ущільнений. Перехід за забарвленням.
[Ph]	140–160 см	Світло-сірий, сухий, грудкуватої структури, глинистий, щільний.

Ґрунт – чорнозем приазовський лісопокращений сильновилугований середньогумусовий суглинистий на лесоподібних суглинках з наносом еолового матеріалу потужністю 15 см.

Лісотипологічна формула лісосмуги з пробною площею ЧП–В2 (за О. Л. Бельгардом, 1971): $\frac{СГ_1}{\text{тін.} - III} 10 \text{ Д. зв.}$

Тип лісорослинних умов – суглинок сухуватий (СГ₁).

Тип світлової структури – тіньовий, з підсиленням світловим станом.

Тип деревостану – 10Д.зв., III ступінь розвитку, зімкненість 0,8, середня висота 5 м.

Чагарниковий підлісок відсутній.

Трав'янистий покрив представлений пириєм повзучим (*Elytrigia repens* L.), з проєктивним покриттям приблизно 90 %, деревій звичайний (*Achillea millefolium* L.) – поодинокі.

Макроморфологічна характеристика ґрунтового розрізу ПП ЧП–В2

Neol	0–20 см	Еоловий, темно-сірий, сухуватий, дрібногрудкуватої структури, суглинистий, пухкий, значна насиченість корінням трав'янистої рослинності на різних стадіях розкладання. Перехід за щільністю та підстилкою у напіврозкладеному стані.
[Н]	20–50 см	Гумусовий горизонт похованого ґрунту. Сірий, сухий, дрібногрудкуватої структури, суглинистий, ущільнений, значно насичений корінням. Перехід за щільністю.
[Нр]	50–145 см	Сірий, сухий, дрібногрудкуватий, суглинистий, ущільнений. Перехід за забарвленням.
[Ph]	145–165 см	Світло-сірий, сухий, грудкуватої структури, глинистий, щільний.

Ґрунт – чорнозем приазовський лісопокрашений сильновилугований середньогумусовий суглинистий на лесоподібних суглинках з наносом еолового матеріалу потужністю 20 см.

Територія досліджень відноситься до Приазовського району степової зони України за проявом вітрової ерозії ґрунтів (Долгилевич, 1972). Дефляція в цих умовах починається при вітрах зі швидкостями більше 9,6 м/с, а загальні втрати ґрунту за рік перевищують 10 т/га. Для району характерні високі швидкості вітру, які один раз на п'ять років під час вітрової ерозії досягають швидкості 25–27 м/с (Долгилевич, 1978). Все це зумовлює накопичення в лісових культурбіогеоценозах еолового матеріалу різної потужності.

Дослідження виконувалися в лабораторії фізики ґрунтів Науково-дослідного інституту біології та кафедри геоботаніки, ґрунтознавства та екології Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара. Гранулометричний склад досліджували ареометричним методом (Вадюнина, 1986), щільність – методом парафінування, щільність твердої фази – пікнометрично, загальну пористість – розрахунково (Качинский, 1965). Із фізико-механічних властивостей досліджували липкість із використанням приладу КРGi-2295, зв'язність – приладу ZE-400 (Олег, 1997), опірність до здавлювання – приладу РРGi-2292 (Горбань, 2007б). Польову вологу визначали ваговим методом (Качинский, 1970). Максимальну гігроскопічну вологість визначали шляхом максимального насичення з використанням 10%-ного розчину Н₂SO₄ (Вадюнина, 1986), вологість в'янення – розрахунково (Качинский, 1970), найменшу вологоємність, водопроникність та водопідйомну здатність – методом трубок, діапазон активної вологи – розрахунково (Вадюнина, 1986). Температуропровідність, теплоємність та теплопровідність визначали методом імпульсного нагрівання (Нерпин, 1967) в модифікації Ю. О. Созіна (1990) з використанням спеціально розробленої установки та програмного забезпечення (Горбань, 2007а). Статистичну обробку отриманих результатів виконували за Є. А. Дмитрієвим (2009).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Як показують результати дослідження гранулометричного складу (табл. 1), еолові відклади пробних площ ЧП–В1 та ЧП–В2 характеризуються більш легким гранулометричним складом порівняно з похованими чорноземами приазовськими, що пояснюється сепаруючою дією вітру на еоловий матеріал.

При статистичній обробці отриманих результатів дослідження гранулометричного складу похованих ґрунтів з еолово-ґрунтовими відкладами використовували оцінку різниці середніх за допомогою критерію Ст'юдента, яка показала відсутність різниці між похованими ґрунтами з еоловим матеріалом різної потужності ($\alpha = 0,05$). Такий самий результат отримано при оцінці відношень вибірових дисперсій з використанням критерію Фішера ($\alpha = 0,05$). Це свідчить, що відкладання еолово-ґрунтового матеріалу різної потужності не призводить до суттєвих змін у похованих чорноземах приазовських за гранулометричним складом. Використання однофакторного дисперсійного аналізу також не виявило відмінності похованих ґрунтів з еолово-ґрунтовими відкладами різної потужності за гранулометричним складом ($\alpha = 0,05$).

Таблиця 1

Гранулометричний склад та загальні фізичні властивості еолово-ґрунтових відкладів та похованих чорноземів приазовських лісового культурбіогеоценозу

Генетичний горизонт	Вміст фізичної глини, %	Назва ґрунту за гранулометричним складом	Щільність, г/см ³	Щільність твердої фази, г/см ³	Загальна пористість, %
Пробна площа ЧП–В1					
Neol	45,4	суглинок важкий	1,34	2,19	38,8
[H]	51,0	суглинок важкий	1,41	2,24	37,1
[Hp]	56,7	суглинок важкий	1,52	2,28	33,3
[Ph]	62,9	глина легка	1,60	2,34	31,6
Пробна площа ЧП–В2					
Neol	43,2	суглинок важкий	1,38	2,23	38,1
[H]	52,1	суглинок важкий	1,42	2,26	37,2
[Hp]	54,3	суглинок важкий	1,45	2,29	36,7
[Ph]	60,1	глина легка	1,59	2,33	31,8

Для еолового матеріалу властиві зменшені величини щільності порівняно з похованими чорноземами приазовськими, що пов'язано з їх більш легким гранулометричним складом. Збільшення щільності похованого гумусового горизонту [H] зумовлено тиском еолових відкладів. В цілому в еоловому матеріалі та похованих ґрунтах спостерігається збільшення щільності з глибиною. Щільність твердої фази досліджуваних еолово-ґрунтових відкладів та похованих ґрунтів збільшується з глибиною. Величина загальної пористості закономірно зменшується з глибиною (табл. 1).

Еолово-ґрунтові відклади пробних площ ЧП–В1 та ЧП–В2 характеризуються зменшеними величинами липкості (табл. 2). В похованих ґрунтах спостерігається збільшення липкості з глибиною, що зумовлено зростанням вмісту фізичної глини. Еолові відклади відрізняються максимальними величинами зв'язності та опірності до здавлювання. З глибиною за профілем похованого ґрунту величини цих властивостей поступово зменшуються. Подібний характер розподілу величин зв'язності та опірності до здавлювання можна пояснити характером розподілу карбонатів в чорноземах приазовських, кількість яких збільшується з глибиною (Прасолов, 1978; Горбань, 2012), оскільки, як відомо, збільшений вміст карбонатів призводить до зменшення механічної стійкості ґрунту (Чорний, 2011).

Таким чином, фізико-механічні властивості еолово-ґрунтові відклади створюють певні перешкоди для нормального розвитку кореневої системи деревостану фітоценозу лісового культурбіогеоценозу.

Дослідження вмісту польової вологи в еолово-ґрунтових відкладах та похованих чорноземах приазовських пробних площ ЧП–В1 та ЧП–В2 показали, що відкладання еолового матеріалу призводить до зменшення накопичення польової вологи в поверхневій метровій товщі ґрунту (пробна площа ЧП–В1 – 269 мм, пробна площа ЧП–В2 – 247 мм польової вологи). При цьому зі збільшенням потужності еолово-ґрунтових відкладів запаси польової вологи зменшуються.

Таблиця 2

**Фізико-механічні властивості еолово-грунтових відкладів та похованих чорноземів
приазовських лісового культурбіогеоценозу**

Генетичний горизонт	Липкість, г/см ²	Зв'язність, Н/см ²	Опірність до здавлювання, г/см ²
Пробна площа ЧП–В1			
Neol	150	71,6	954
[H]	225	65,5	772
[Hp]	270	64,8	750
[Ph]	300	60,2	712
Пробна площа ЧП–В2			
Neol	125	78,4	893
[H]	165	65,7	742
[Hp]	245	52,3	720
[Ph]	291	59,7	721

Дослідженнями водно-фізичних властивостей (табл. 3) виявлено, що для еолово-грунтових відкладів пробних площ ЧП–В1 та ЧП–В2 характерні збільшені величини максимальної гігроскопічної вологи, з глибиною за профілем похованого ґрунту її величина поступово зменшується, що можна пояснити профільним розподілом органічної речовини. Значні величини найменшої вологості еолових відкладів зумовлюють формування в них збільшених запасів продуктивної вологи порівняно з горизонтами похованого ґрунту. Еолово-грунтові відклади характеризуються збільшеними величинами водопроникності порівняно з горизонтами похованих чорноземів приазовських. Це зумовлює перетворення поверхневого стоку на глибинний, що сприяє накопиченню в ґрунті запасів вологи. Величини водопідйомної здатності зумовлюють можливість підтягування ґрунтової вологи з нижніх горизонтів до верхніх, де вона найбільш ефективно використовується фітоценозом лісового культурбіогеоценозу.

Таблиця 3

**Водно-фізичні властивості еолово-грунтових відкладів та похованих чорноземів
приазовських лісового культурбіогеоценозу**

Гене- тичний горизонт	Максимальна гігроскопічна вологість, %	Вологість в'янення, %	Найменша волого- ємність, %	Діапазон активної вологи, %	Водопр- никність, мм/хв.	Водо- підйомна здатність, мм/хв.
Пробна площа ЧП–В1						
Neol	11,7	17,1	45,8	28,8	1,84	1,58
[H]	11,1	16,9	44,7	27,8	1,55	1,48
[Hp]	10,8	16,2	43,0	26,8	1,08	1,62
[Ph]	9,6	14,4	40,8	26,4	0,96	1,84
Пробна площа ЧП–В2						
Neol	11,3	17,2	45,6	29,4	1,68	1,25
[H]	10,9	16,4	43,9	27,6	1,48	1,22
[Hp]	10,5	15,8	42,3	26,6	1,61	1,06
[Ph]	9,5	14,3	41,0	26,8	1,34	1,31

Результати дослідження теплофізичних властивостей еолово-грунтових відкладів та похованих чорноземів приазовських наведено в табл. 4. Еолові відклади пробних площ ЧП–В1 та ЧП–В2 відрізняються збільшеними величинами температуропровідності та теплопровідності порівняно з похованими чорноземами приазовськими, що можна пояснити збільшеним вмістом органічної речовини в цих утвореннях. В той же час еолово-грунтові відклади характеризуються зменшеними величинами теплоємності (табл. 4), що пояснюється їх більш легким гранулометричним складом порівняно з горизонтами похованого ґрунту.

Таблиця 4

**Теплофізичні властивості еолово-грунтових відкладів та похованих чорноземів
приазовських лісового культурбіогеоценозу**

Генетичний горизонт	Температуропровідність, $10^{-7} \text{ м}^2/\text{с}$	Теплоємність, $\text{МДж}/(\text{м}^3 \cdot \text{К})$	Теплопровідність, $\text{Дж}/(\text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{К})$
Пробна площа ЧП–В1			
Neol	3,773	1,064	0,402
[H]	3,078	1,125	0,346
[Hp]	3,224	1,133	0,366
[Ph]	3,469	1,162	0,403
Пробна площа ЧП–В2			
Neol	3,671	1,024	0,389
[H]	3,062	1,103	0,341
[Hp]	3,215	1,117	0,358
[Ph]	3,423	1,142	0,391

ВИСНОВКИ

1. Еолово-грунтові відклади характеризуються більш легким гранулометричним складом порівняно з похованими чорноземами приазовськими.
2. В еоловому матеріалі та похованих ґрунтах з глибиною спостерігається збільшення величин щільності та щільності твердої фази. Загальна пористість з глибиною поступово зменшується.
3. Еолово-грунтові відклади порівняно з похованими чорноземами приазовськими відрізняються зменшеними величинами липкості та збільшеними величинами зв'язності та опірності до здавлювання.
4. Еоловий матеріал містить менші запаси польової вологи порівняно з похованими ґрунтами.
5. Еолово-грунтовим відкладам та похованим чорноземам приазовським властиві сприятливі водно-фізичні властивості.
6. Еолові відклади відрізняються збільшеними величинами температуропровідності і теплопровідності та зменшеними величинами теплоємності порівняно з похованими чорноземами приазовськими.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Белова Н. А.** Естественные леса и степные почвы (экология, микроморфология, генезис) / Н. А. Белова, А. П. Травлев. – Д. : ДГУ, 1999. – 348 с.
- Бельгард А. Л.** Степное лесоведение / А. Л. Бельгард. – М. : Лесн. пром-сть, 1971. – 335 с.
- Вадюнина А. Ф.** Методы исследования физических свойств почвы / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М. : Агропромиздат, 1986. – 416 с.
- Высоцкий Г. Н.** Материалы по изучению черных бурь в степях России / Г. Н. Высоцкий // Избранные сочинения. Т. 2. Почвенные и почвенно-гидрологические работы. – М. : АН СССР, 1962. – С. 9-18.
- Горбань В. А.** Исследование теплофизических свойств почвы методом импульсного нагрева / В. А. Горбань, А. А. Горбань // Ґрунтознавство. – 2007а. – Т. 8, № 3-4. – С. 95-99.
- Горбань В. А.** Опірність здавлюванню ґрунтів: методика дослідження та екологічне значення / В. А. Горбань // Ґрунтознавство. – 2007б. – Т. 8, № 1-2. – С. 101-104.
- Горбань В. А.** Особливості вмісту карбонатів в еолово-грунтових відкладах лісових культурбіогеоценозів степової зони України / В. А. Горбань, М. С. Оганесян // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції «Проблеми відтворення та охорони біорізноманіття України». – Полтава, 2012. – С. 119-121.
- Дмитриев Е. А.** Математическая статистика в почвоведении / Е. А. Дмитриев. – М. : Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. – 328 с.
- Долгилевич М. И.** Пыльные бури и агролесомелиоративные мероприятия / М. И. Долгилевич. – М. : Колос, 1978. – 160 с.
- Долгилевич М. И.** Теоретические и экспериментальные исследования вопросов защиты почв от ветровой эрозии на Украине: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук / М. И. Долгилевич. – М., 1972. – 48 с.

- Зубець М. В.** Ерозія ґрунтів – загроза їх родючості / М. В. Зубець // *Голос України*. – 2008. – № 32. – С. 9.
- Качинский Н. А.** Физика почвы / Н. А. Качинский. – М. : Высш. шк., 1965. – 323 с.
- Качинский Н. А.** Физика почвы / Н. А. Качинский. – М. : Высш. шк., 1970. – 357 с.
- Можейко Г. А.** Лесо-аграрные ландшафты Южной и Сухой Степи Украины / Г. А. Можейко. – Х. : Эней, 2000. – 312 с.
- Нерпин С. В.** Физика почвы / С. В. Нерпин, А. Ф. Чудновский. – М. : Наука, 1967. – 580 с.
- Олег И. Е.** К итогам исследования связности и липкости лесных почв Присамарского биосферного стационара / И. Е. Олег // *Вопросы степного лесоведения и лесной рекультивации земель*. – Д. : ДГУ, 1997. – Вып. 1. – С. 98-105.
- Прасолов Л. И.** О черноземе приазовских степей / Л. И. Прасолов // *Генезис, география и картография почв*. – М. : Наука, 1978. – С. 79-100.
- Созин Ю. А.** Определение теплофизических свойств почвы методом импульсного нагрева / Ю. А. Созин // *Антропогенные воздействия на лесные экосистемы степной зоны*. – Д. : ДГУ, 1990. – С. 95-101.
- Травлев А. П.** Лес как фактор почвообразования / А. П. Травлев, Н. А. Белова // *Ґрунтознавство*. – 2008а. – Т. 9, № 3-4 (13). – С. 6-26.
- Травлев А. П.** О работе Научного Совета по проблемам почвоведения Отделения общей биологии НАН Украины и задачи сохранения почвенного покрова, повышения плодородия, рациональное использование / А. П. Травлев // *Ґрунтознавство*. – 2010. – Т. 11, № 3-4. – С. 8-12.
- Чорний С. Г.** Пилова буря 23-24 березня 2007 року на Півдні України: поширення, метеорологічні та ґрунтові чинники, втрати ґрунту / С. Г. Чорний, О. М. Хотиненко, О. В. Письменний та ін. // *Вісник аграрної науки*. – 2008. – № 9. – С. 46-51.
- Чорний С. Г.** Про взаємозв'язок між різними параметрами протидефляційної стійкості ґрунтів степу України / С. Г. Чорний, О. В. Письменний // *Екологія та ноосферологія*. – 2011. – Т. 22, № 3-4. – С. 43-47.
- Ярмольська А. С.** Полезахисні лісонасадження – ефективний засіб боротьби з пиловими бурями / А. С. Ярмольська. – К. : УкрНДІНТІ, 1971. – 32 с.

Рекомендує до друку
А. П. Травлев

Надійшла до редколегії 14.05.12

КЛАСТЕРНА ПРОГРАМА «РОДЮЧІСТЬ ҐРУНТІВ»

УДК 631.583(477.7)

С. Г. Чорний¹, О. В. Видинівська¹, А. В. Волошенюк²

КІЛЬКІСНА ОЦІНКА ПРОТИДЕФЛЯЦІЙНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ NO-TILL В УМОВАХ ПІВДЕННОГО СТЕПУ УКРАЇНИ

¹Миколаївський державний аграрний університет

²Асканійська державна сільськогосподарська дослідна станція НААНУ

Розглянуто вплив системи землеробства No-till на протидефляційні властивості чорнозему південного. Визначено, що протидефляційні властивості ґрунту пов'язані не лише з механічною дією ґрунтообробних знарядь, а і з властивостями рослинних решток. Зафіксовано абсолютне збільшення проективного покриття поверхні ґрунту рослинними залишками та зростання з цієї причини загальної протидефляційної стійкості агроландшафту.

Ключові слова: вітрова ерозія, грудкуватість, протидефляційна стійкість, рослинні рештки.

С. Г. Черный¹, О. В. Видинивская¹, А. В. Волошенюк²

¹Николаевский государственный аграрный университет

²Асканийская государственная сельскохозяйственная опытная станция НААНУ

КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ПРОТИВОДЕФЛЯЦИОННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ NO-TILL В УСЛОВИЯХ ЮЖНОЙ СТЕПИ УКРАИНЫ

Рассмотрено влияние системы земледелия No-till на противодефляционные свойства южного чернозема. Определено, что противодефляционные свойства почвы связаны не только механическим воздействием почвообрабатывающих орудий, но и свойствами растительных остатков. Зафиксировано абсолютное увеличение проективного покрытия поверхности почвы растительными остатками и увеличения по этой причине общей противодефляционной стойкости агроландшафта.

Ключевые слова: ветровая эрозия, комковатость, противодефляционная стойкость, растительные остатки.

S. G. Chorny¹, O. V. Vydynivska¹, A. V. Voloshenyuk²

¹Mykolayiv state agrarian university

²Askania state agricultural experimental station NAASU

THE QUANTITATIVE EVALUATION OF THE WIND EROSION PREVENTIVE EFFECTIVENESS OF NO-TILL TECHNOLOGY BY SOUTHERN UKRAINE CONDITIONS

The effect of No-till cropping system on the wind erosion preventive properties of southern chernozem was discussed. It was determined that wind erosion preventive soil properties are not only the mechanical action of tillage tools, but also the properties of plant residues. Recorded an absolute increase of projective cover of soil surface by plant residue and increasing for this reason the total wind erosion preventive stability agrarian landscapes.

Keywords: wind erosion, lumpiness, wind erosion preventive stability, plant residues.

Система землеробства No-till (або «нульовий» обробіток ґрунту, або технологія «прямої сівби»), яка передбачає сівбу у необроблений ґрунт, коли з поверхні ґрунту після жнив не прибирають стерню та поживні залишки, а боротьбу з бур'янами проводять шляхом правильного підбору сівозмін та кваліфікованим застосуванням

засобів захисту рослин, зараз поступово поширюється по Україні. Причин впровадження нової системи землеробства кілька: зменшення капіталовкладень за рахунок скорочення кількості операцій обробітку ґрунту та економії витрат на запчастини, паливно-мастильні матеріали, оплату праці, збереження вологості, що особливо актуально в посушливих районах Степу, зменшення непродуктивних витрат CO₂ з ґрунту. Важливим аргументом на користь впровадження нової системи землеробства є її значний ґрунтозахисний ефект, який пов'язаний за оцінками різних фахівців з наявністю на поверхні ґрунту великої кількості поживних залишків («мульчі»), які захищають ґрунт від екстремального поверхневого стоку та сильних вітрів (Гассен, 2004; Кирюшин, 2006; Косолап, 2011 та ін.).

Дефляційна небезпека в Україні

В степовій зоні України дефляція ґрунтів є важливим чинником деградації земель. Результати досліджень, які будуть викладені нижче, пов'язані з кількісною оцінкою ґрунтозахисної ефективності No-till в умовах вітроерозійної (дефляційної) небезпеки.

Збитки, які заподіюються народному господарству вітровою ерозією ґрунтів, дуже різноманітні. Зменшується родючість ґрунту, що пов'язано зі зменшенням потужності гумусового горизонту, гинуть в результаті видування і засипання ґрунтом посіви сільськогосподарських культур. Навіть якщо інтенсивність вітрової ерозії ґрунтів невелика, спостерігається зменшення врожайності сільськогосподарських культур у результаті засікання їх частинками ґрунту. При сильних пилових бурях ускладнюється робота промислових підприємств і транспорту, засипаються канали. Збільшення запиленості повітря негативно позначається і на здоров'ї людей.

Найбільш сильна пилова буря за останні 30 років сталася в Україні 23 та 24 березня 2007 року. Аналіз поширення цього стихійного лиха показав (Чорний, 2008б), що пилова буря охопила значну частину Одеської області, всю Миколаївську, Херсонську, Запорізьку області, північ Республіки Крим, південні райони Кіровоградської та Дніпропетровської області, західні райони Донецької. Загальна площа, яка постраждала від пилової бурі складала близько 125 тис. км², що дорівнює приблизно 20 % площі України, або 50 % площі всієї степової зони (Чорний, 2008б). За дві доби, згідно даних спостережень на метеорологічних станціях цього регіону України, кількість годин з пиловою бурею пересічно становила 15–20, а в епіцентрі стихійного лиха (метеостанції Асканія-Нова, Кирилівка, Миколаїв, Нижні Сірогози, Велика Олександрівка) кількість годин з пиловою бурею за 23–24 березня доходила до 27–30. Середня швидкість вітру за цей проміжок часу сягала 15–20 м/с (по метеостанції Асканія-Нова – до 28 м/с), а окремі пориви мали значення 35–40 м/с, що набагато більше ніж критичні (порогові) значення, при яких починається відривання часточок ґрунту від поверхні, підняття їх в повітря, перенесення їх в повітряному потоці та відкладення в вигляді еолового наносу (Чорний, 2008б).

Найбільші втрати ґрунту спостерігалися в центральній частині Херсонської та Запорізької областей і становили 150–400 т/га. Якщо порівняти отримані величини з допустимими нормами ерозії, що дорівнюють темпам ґрунтоутворення, то для темно-каштанових ґрунтів та чорноземів вони становлять, залежно від рівня агротехніки, ступеню еродованості та структури сівозмін від 0,1 до 1,7 т/га на рік (Чорний, 2008б). Тобто, за 10–30 годин 23 та 24 березня 2007 року з поверхні агроландшафтів була видута така кількість ґрунту, яка більша за швидкість ґрунтоутворення в 10–4000 разів.

В таких умовах система No-till разом з ефективною лісомеліорацією є, по суті, єдиним засобом боротьби з такими стихійними явищами.

В умовах стабільної структури посівних площ та сівозмін оцінка протидефляційних властивостей технології розпадається на оцінку двох її складових – протидефляційних характеристик власно ґрунту та ґрунтозахисних характеристик поверхонь агроландшафтів, які визначаються рослинністю та рослинними рештками.

Огляд літератури

За останній час в Україні та Світі вийшло досить багато публікацій, присвячених системі землеробства No-till. В монографіях та статтях, де узагальнений

багаторічний дослід впровадження цієї технології, значну увагу зосереджено на агрономічних аспектах. Мова йдеться про вплив прямої сівби на запаси вологи в ґрунті, фільтраційну здатність ґрунту, твердість та щільність ґрунту, динаміку елементів живлення, баланс гумусу тощо (Rhoton, 2000; Гассен, 2004; Кирюшин, 2006; Косолап, 2011 та ін.). Вивчення агрегатного складу верхнього шару ґрунту часто проводилося лише з точки зору агрономічних критеріїв, зокрема, визначення лише агрономічно-цінної складової.

В той же час, в чисельних публікаціях констатується високий ґрунтозахисний ефект системи No-till, пояснюючи цей феномен великою кількістю рослинних решток, які залишаються на поверхні ґрунту (наприклад, Косолап, 2011).

Дослідження, які були проведені М. І. Байдюком (2004) на звичайних чорноземах в Донецькій області показали, що технологія нульового обробітку не створює умов для погіршення структурно-агрегатного складу ґрунту, порівняно з контролем, та істотно не впливає на вміст водостійких агрегатів ґрунту. Що стосується протидефляційних властивостей ґрунту, то автор не приводить даних щодо впливу цієї технології на вітростійкість, проте констатує високу ґрунтозахисну ефективність No-till, яку пояснює великим вмістом поживних решток на поверхні ґрунту.

Спеціальні ґрунтові дослідження та узагальнення щодо впливу No-till на ґрунтові властивості, які були проведені в США, Австралії та Південній Америці, показали суттєві зміни у властивостях ґрунтів, особливо за багаторічної практики цієї технології (Dickey, 1986; Rhoton, 2000; Tiscareño-López, 2004; Thomas, 2007; Salvo, 2010 тощо), але ґрунтозахисний ефект в цих роботах точно був не визначений. Констатується для ґрунтів штату Міссісіпі часткове збільшення стабільності повітряно-сухих агрегатів, які, на думку автора, визначають вітростійкість за багаторічного застосування No-till під деякими культурами (Rhoton, 2000).

Спробу кількісної оцінки ґрунтозахисної ефективності No-till приведено лише в деяких роботах, які стосуються ґрунтів та територій в Північній та Південній Америці. Зокрема Торн із співавторами (2007), зробивши розрахунки для умов землеробства штату Орегон, показав на значний ґрунтозахисний протидефляційний ефект No-till в сівоzmіні «яра пшениця – ярий ячмінь», особливо після третьої ротації (через шість років), коли мульча закриває поверхню ґрунту на 100 %. В той же час, шорсткість поверхні ґрунту, яка визначається обробітком ґрунту і є, на думку авторів, важливим протидефляційним фактором, проявляється в сівоzmіні «чорний пар – озима пшениця» лише осінню при максимумі дефляційно-небезпечних вітрів в регіоні навесні та влітку.

Вплив No-till та інших технологій обробітку ґрунту на протидефляційні властивості ґрунтів було вивчено в Аргентині (Graciela, 2007) і констатовано про суттєву зміну вітростійкості ґрунту в результаті багаторічного впливу різних ґрунтообробних знарядь. Але в висновках цієї роботи не враховувалися рослинні фактори дефляції, а тому вони мають обмежене значення для практичного застосування.

Отже, численні декларації, щодо високої ґрунтозахисної ефективності системи землеробства No-till, ні в нашій країні, ні в роботах закордонних спеціалістів не базуються на кількісних та комплексних оцінках такої ефективності, що затримує впровадження нових систем землеробства у виробництво, зокрема, в Україні.

ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження щодо визначення протидефляційних властивостей системи землеробства No-till проводилися на чорноземах південних Асканійської державної сільськогосподарської дослідної станції Національної академії аграрних наук України (с. Тавричанка, Каховського району Херсонської області) в рамках стаціонарного польового дослідження.

Вивчення проводилися під п'ятьма культурами сівоzmін – озимою пшеницею (попередник – горох), гірчицею (попередник – сорго), сорго (попередник – озима пшениця), горохом (попередник – сорго), соєю (попередник – озима пшениця).

В перших чотирьох дослідях No-till було застосовано на протязі 2 років, в останньому при вирощуванні сої на зрошенні – 5 років. При застосуванні технології No-till сівба проводилася сівалкою Grain Plains CPN, з міжряддями 19 см на посівах озимої пшениці, гороху та гірчиці, 38 см при вирощуванні сорго. При вирощуванні сої застосовувалася сівалка Хорш Агросоюз з міжряддями 15 см. В якості контролю застосовувалися традиційні для даних культур основні типи обробки ґрунту – при вирощуванні озимої пшениці – дискування важкою дисковою бороною на 12–14 см, у всіх інших випадках – глибока оранка на 28–30 см з обертанням скиби агрегатом ПЛН-5-35.

Вище згадувалось, що кількісна оцінка протидефляційної ефективності системи No-till розпадається на дві окремі задачі – визначення протидефляційних властивостей тільки ґрунту при впровадженні цієї системи землеробства та кількісної оцінки ґрунтозахисної ефективності рослинних решток («мульчі»), які залишаються на поверхні ґрунту. Тому на дослідях вивчався агрегатний склад поверхневого шару ґрунту методом сухого просівання за Савіновим (в 3–4 кратній повторності) та кількісні характеристики мульчі – її вага на квадратний метр площі та відсоток покриття поверхні ґрунту рослинними рештками. Останнє визначалось через фотографування поверхні ґрунту та розбивкою фото на квадрати рівної площі з подальшим поквдратним кількісним аналізом проективного покриття (в 3-х кратній повторності).

ґрунтові зразки з шару ґрунту 0–5 см та вимірювання покриття поверхні ґрунту рослинними рештками по гороху та сої відбиралися наприкінці весни – на початку літа, а на посівах озимої пшениці та на ділянках з майбутніми посівами гірчиці та сорго – восени після обробки на зяб.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Кількісна оцінка протидефляційної стійкості ґрунтів

Масштабні дослідження щодо протидефляційної стійкості (вітростійкості) ґрунтів, які були проведені в 40-х – 60-х роках XX сторіччя в США та узагальнені в рамках проекту Рівняння вітрової ерозії (Wind Erosion Equation – WEQ та RWEQ) (Наукові та прикладні основи..., 2010) та в 70-х роках XX століття в Україні М. Й. Долгилевичем (1977, 1978), показали, що так звана «критична» швидкість вітру (швидкість, за якої починається масове підіймання часток ґрунту в повітря) пропорційна розміру ґрунтових агрегатів. Тому як непрямий, але універсальний показник протидефляційної стійкості часто використовують показники макроструктури ґрунту, зокрема, це або вміст агрегатів більше 1 мм при сухому просіюванні за методикою Саввінова («грудкуватість»), або вміст агрегатів розміром більше 0,84 мм (1/30 дюйма) при просіюванні на ситах Чепіла (Cheril, 1958).

В той же час, вочевидь, що для фізичного та математичного моделювання процесів вітрової ерозії необхідно використовувати прямі методи визначення протидефляційної стійкості, що дозволяє отримати найбільш повну інформацію щодо стійкості ґрунтів до дії сильних вітрів. В світовій науковій практиці для таких досліджень використовуються аеродинамічні устаткування різного типу.

Сконструйована нами в 2008 році лабораторна аеродинамічна установка дозволила визначати протидефляційну стійкість спеціальним чином підготовленого ґрунтового зразку в повітряно-пиловому потоці швидкістю 15 м/с (Патент 29131..., 2008). Абразивний матеріал (пісок) через дозатор вводився в штучний повітряний потік, розганявся в ньому і попадав на поверхню ґрунтового зразка, який під ударами цього матеріалу руйнувався (Патент 29131..., 2008).

Стійкість ґрунту до руйнування в повітряно-пиловому потоці (VS) визначалася через відношення ваги ґрунту після експозиції в установці впродовж 3 хвилин (a) до його початкової маси, яка дорівнювала 180 г ґрунту (Патент 29131..., 2008; Чорний, 2011):

$$VS = \frac{a}{180} \cdot 100\% \quad (1)$$

Варто відмітити, що протидефляційна стійкість згідно (1) розраховується лише у відносних величинах, що є недоліком методики. Але слід визначити, що розрахунок протидефляційної стійкості в абсолютних одиницях, наприклад, сили відкриває перспективи для створення на даних такого вимірювання фізично обґрунтованих математичних моделей дефляції. У зв'язку з цим була створена методика визначення вітростійкості ґрунту в одиницях системи вимірювання СІ, в якій визначалося, що сила, яка використовується при руйнації ґрунтового зразка буде дорівнювати рівнянню (Чорний, 2011):

$$F = 0,69 \cdot T / l \cdot (a / 180), \quad (2)$$

або за стандартного експерименту описаного вище (3 хвилини експозиції в пило-повітряному потоці ($T = 180$ с), довжині зразка в 5 см ($l = 0,05$ м)

$$F = 2484 \cdot (180 / a). \quad (3)$$

З (3) витікає, що при повній руйнації зразка ($a = 0$), $F = 0$ Н. А коли при 3-хвилинній експозиції такої руйнації взагалі не спостерігається ($a = 180$), то $F = 2484$ Н. Вочевидь, що протидефляційна стійкість всіх ґрунтів Степу України буде змінюватися саме в цьому діапазоні значень. Перерахунок протидефляційної стійкості з відносних величин (VS) в абсолютні показники сили (F) може відбуватися за наступною формулою:

$$F = 24,8 \cdot VS. \quad (4)$$

Наслідком отриманих залежностей (3–6) є можливість інтерпретації даних по «грудкуватості» (вмісту ґрунтових агрегатів при «сухому» просіюванні за Саввіновим більш 1 мм) в показниках сили. В роботі (Чорний, 2008а) був виявлений тісний зв'язок ($r^2 = 0,96$) між протидефляційною стійкістю (VS , %) та вмістом в ґрунті агрегатів > 1 мм (G , %):

$$G = 16,82 \cdot VS^{0,35}, \text{ при } 84 > G > 0 \quad (5)$$

Вирішивши рівняння (5) відносно VS та підставивши цю змінну в (4), після перетворень отримуємо наступний вираз:

$$F = \begin{cases} 24,8 \cdot \exp(2,86 \cdot \ln G - 8,06), & \text{при } G \leq 84\% \\ 2484, & \text{при } G > 84\% \end{cases} \quad (6)$$

Система рівнянь (6) дозволяє оцінити протидефляційну стійкість ґрунтів, у випадку коли відома лише його грудкуватість.

Дані щодо впливу No-till на грудкуватість чорнозему південного та його вітростійкість, розраховані за (6) приведені в табл. 1. Аналіз цих даних показує, що в випадку осіннього визначення технологія No-till негативно впливає на грудкуватість та вітростійкість. Пояснення цього феномену пов'язано, на наш погляд, зі збільшенням щільності верхнього шару необробленого ґрунту при застосуванні технології прямої сівби та зростанням анаеробних умов для мікробіологічного ценозу ґрунту. Погіршення, таким чином, мікробіологічної діяльності на тлі винятково сухої осені 2011 року, що негативно вплинула на розкладання органічних решток, які були накопиченні на поверхні ґрунту, призвело до недостатньої генерації як мікробних клевів та гіфів ґрунтових грибів, які є одним із головних чинників утворення мікро- та макроагрегатів, так і свіжих гумусових речовин, які посилюють коагуляцію колоїдів і утворення агрегатів (Воронин, 1986). Перемішування ґрунту при оранці на зяб або, в випадку озимої пшениці, при дискуванні важкими боронами збільшують чисельність ґрунтових мікроорганізмів, які відреагували не тільки на кращі умови аерації, а і на зароблення в ґрунт основного енергетичного матеріалу – рослинних залишків. Все це посилює мікробіологічну складову агрегування ґрунту та утворення гумусових речовин.

Визначення грудкуватості та вітростійкості влітку (посіви сої та гороху) показали на збільшення вмісту агрегатів більше 1 мм на варіантах з технологією No-till у порівнянні з контролем. Причиною цього є дещо інша ґрунтова ситуація, що склалася на момент відбору зразків. В наших роботах вже відзначалося (Чорний, 2007), що на протидефляційний стан ґрунтів навесні та на початку літа впливає

безперервне заморожування та танення поверхні ґрунту. Такий процес призводить до руйнації («розпорошення») структури, зменшення вмісту дефляційно-небезпечних фракцій. Критичним для середньосуглинкових південних чорноземів є 25–30 циклів «замороження-танення» за зимовий період. На наш погляд, в умовах впровадження No-till, коли поверхня ґрунту вкрита рослинними рештками, така температурна руйнація йде менш інтенсивно в порівнянні з обробленим плугом або дисковими бородами контролем, а тому вміст агрегатів більше 1 мм в ґрунтах, де використовувався прями́й посів був більший (табл. 1).

Таблиця 1

Вплив обробітку ґрунту на протидефляційні характеристики чорнозему південного

№ п/п	Сільськогосподарська культура	Попередник	Обробіток ґрунту	Грудкуватість, %	Вітростійкість, Н
1	Озима пшениця	Горох	No-till	72	891
			Традиційний	91	2484
2	Гірчиця	Сорго	No-till	58	864
			Традиційний	85	2484
3	Сорго	Озима пшениця	No-till	55	821
			Традиційний	65	1235
4	Соя	Озима пшениця	No-till	79	2095
			Традиційний	46	446
5	Горох	Сорго	No-till	92	2484
			Традиційний	78	2020

Отже, в якості попереднього висновку слід відзначити, що дія No-till, як і інших технологій на протидефляційні властивості ґрунту, скоріш за все, пов'язана не лише з механічним впливом ґрунтообробних знарядь на ґрунт, а й з властивостями рослинних решток, що заробляються в ґрунт та (або) залишаються на його поверхні (а, значить, з властивостями сільськогосподарських рослин, які вирощуються в сівозмінах), з впливом обробки ґрунту на мікробіологічну діяльність, з термінами впровадження певного виду обробітку ґрунту, метеорологічними умовами конкретного року та загальною кліматичною ситуацією, тощо. Тому однозначного висновку, щодо позитивного або негативного впливу No-till на протидефляційні властивості ґрунту, можна буде зробити лише за умов системних досліджень на стаціонарних багаторічних польових дослідках.

Оцінка ґрунтозахисної ефективності рослинних решток

За оцінками великої кількості фахівців саме наявність на поверхні ґрунту потужного шару рослинних решток є головним чинником високої ґрунтозахисної спроможності системи No-till (рис. 1). Більш того, в багатьох публікаціях декларується притаманний лише системі No-till особливий підхід щодо отримання рослинних решток, їх подрібнення, визначення потужності та умов розташування на поверхні ґрунту (вертикально або горизонтально, зорієнтовано відносно панівних вітрів або цілком випадково) тощо. Такий підхід має назву управління рослинними рештками (в англійській літературі – *crop residue management* – CRM) (Косолап, 2011).

З точки зору визначення протидефляційної ефективності рослинних решток, які знаходяться на поверхні ґрунту, як правило, використовують кілька показників –

проективне покриття, вага рослинних решток на одиницю площі, частка вертикально зорієнтованих рослинних решток.

Масове визначення проективного покриття ($ПП$, %) та ваги рослинних решток (V , г/м²) на дослідках показало, що існує досить тісний зв'язок між цими показниками ($r^2 = 0,89$) (рис. 2):

$$ПП = -0,151 \cdot 10^{-7} \cdot V^3 + 1,72 \cdot 10^{-4} \cdot V^2 + 8,21 \cdot 10^{-3} \cdot V. \quad (7)$$

Залежність (7) можна використовувати в тому випадку, коли визначена вага рослинних решток, а треба знайти їх проективне покриття.



Рис. 1. Проективне покриття поверхні ґрунту
(справа – при використанні технології прямого посіву, зліва – при звичайній технології)

Існуючий аналіз робіт вітчизняних та зарубіжних науковців щодо впливу рослинних решток на величину втрат ґрунту при дефляції (наприклад, Долгилевич, 1978; Наукові та прикладні основи..., 2010) показав, що така залежність має нелінійний характер. Тобто збільшення ваги рослинних решток на одиницю площі (або площі проективного покриття) не призводить до пропорційного зменшення втрат ґрунту.

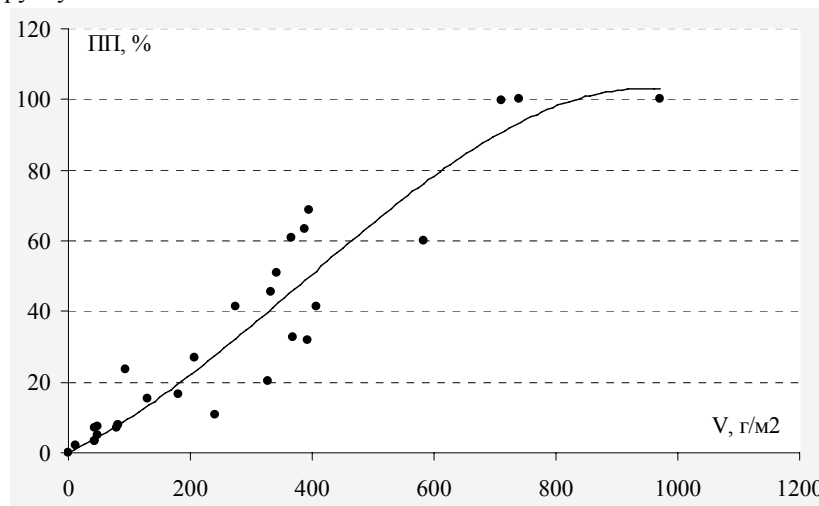


Рис. 2. Графік зв'язку між проективним покриттям поверхні ґрунту рослинними рештками ($ПП$, %) та їх вагою (V , г/м²)

Але, на наш погляд, найбільш глибоко обґрунтовано та має найбільш точний зв'язок між втратою ґрунту при дефляції та кількістю рослинних решток на поверхні ґрунту рівняння, яке приводиться в роботі Хорнінга із співавторами (Horning, 1998):

$$W = e^{-0,05 \cdot PPP} \times e^{-0,25 \cdot RR} \quad (8)$$

В (8) W – відносні потенційні втрати ґрунту від дефляції (змінюється від 0 до 1), PPP – проективне покриття, %, RR – параметр шорсткості поверхні, який залежить від розміру ґрунтових агрегатів, см. Слід визначити, що рівняння (8) є важливою складовою визначення впливу рослинності на процес дефляції в модифікованому Рівнянні вітрової ерозії США (RWEQ) (Bilbro and Frygear, 1994; Thore, 2003).

Для розрахунку впливу тільки рослинних решток на величину дефляції (вітрової ерозії) приймемо в рівнянні (8) умови гладкої поверхні ($RR = 0$) (рис. 3), тоді розрахунки можна провести за наступним рівнянням

$$W = e^{-0,05 \cdot PPP} \quad (9)$$

Важливою характеристикою протидефляційної ефективності рослинних решток є відсоток їх вертикального розташування (Наукові та прикладні основи..., 2010). Чим більше рослинних решток в результаті обробки ґрунту залишилося в вертикальному стані, тим краще рослинні рештки захищають ґрунт від вітрової ерозії.

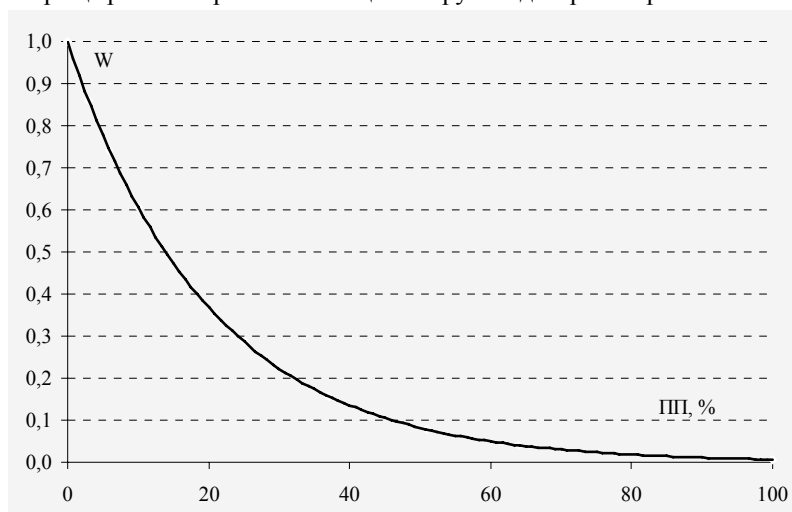


Рис. 3. Вплив проективного покриття поверхні ґрунту на величину дефляції (Thore, 2003)

Результати вимірювання обсягів рослинних решток, проективного покриття та результати розрахунків за рівняннями (7–9) приведені в таблиці 2. Як видно із спостережень та розрахунків, використання технології No-till має абсолютну ґрунтозахисну ефективність. На варіантах з No-till кількість рослинних решток, які залишилися на поверхні ґрунту, в порівнянні з традиційними обробітками, в залежності від попередника збільшилася приблизно в 2,5–24 разів, що призвело до абсолютного збільшення проективного покриття поверхні ґрунту рослинними залишками та росту загальної протидефляційної спроможності агроландшафту.

Слід також відмітити той факт, що окрім кількісного збільшення рослинних решток на поверхні ґрунту, вони в значній мірі (на 50–80 %) ще знаходяться у «вертикальному» стані, що значно посилює їх протидефляційну спроможність. Тому при застосуванні No-till в умовах високої вірогідності реалізації дефляційної небезпеки, процес управління рослинними рештками повинен включати процедуру правильного їх розташування «вертикальної» складової. А саме – уперек головного напрямку вітроерозійних вітрів в небезпечний з точки зору реалізації дефляції період року. В умовах Південного Степу – це східні та північно-східні напрямки в зимово-весняний період (лютий – квітень).

Таблиця 2

Вплив технології прямого посіву на протидефляційні властивості поверхонь агроландшафту

№ п/п	Сільсько-господарська культура	Попередник	Обробіток ґрунту	Кількість рослинних решток, г/м ²	«Вертикальна» складова, %	Проективне покриття, %	Величина дефляції як функція від проективного покриття ґрунту рослинними рештками
1	Озима пшениця	Горох	No-till	333,8	50–60	25	0,29
			Традиційний	57,9	1	6	0,74
2	Гірчиця	Сорго	No-till	443,4	70–80	51	0,08
			Традиційний	18,4	1	3	0,86
3	Сорго	Озима пшениця	No-till	807,6	70–80	100	0
			Традиційний	234,0	5–6	37	0,16
4	Соя	Озима пшениця	No-till	798,7	–	98	0,01
			Традиційний	77,1	–	7	0,70
5	Горох	Сорго	No-till	290,1	–	35	0,17
			Традиційний	112,1	–	11	0,58

ВИСНОВКИ

1. Вплив No-till на протидефляційні властивості ґрунту, пов'язаний не лише з механічною дією ґрунтообробних знарядь, а і з властивостями рослинних решток, які заробляються в ґрунт та (або) залишаються на його поверхні, з впливом обробітку ґрунту на мікробіологічну діяльність, з термінами впровадження обробітку ґрунту, метеорологічними умовами конкретного року та загальною кліматичною ситуацією, тощо. Тому однозначного висновку, щодо позитивного або негативного впливу No-till на протидефляційні властивості ґрунту, зробити не можливо – спостерігається як зростання протидефляційної стійкості ґрунту у порівнянні з контролем, так і його зниження.

2. З точки зору протидефляційної ефективності рослинних залишків, впровадження No-till має абсолютну ґрунтозахисну ефективність. На варіантах з No-till кількість рослинних решток, які залишилися на поверхні ґрунту, у порівнянні з традиційними обробітками, в залежності від попередника збільшилася приблизно в 2,5–24 разів, що призвело до абсолютного збільшення проективного покриття поверхні ґрунту рослинними залишками та росту загальної протидефляційної спроможності агроландшафту.

3. Наявність в умовах реалізації системи No-till серед рослинних решток великої частки «вертикальної» складової диктує необхідність з метою збільшення протидефляційної ефективності технології розташування «вертикальних» рядків упоперек головного напрямку ерозійних вітрів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Байдюк М. І. Особливості акумулятивного ґрунтоутворення за нульового обробітку чорноземів Степу Донбасу: Автореф. дис. канд. с.-г. наук / М. І. Байдюк. – Х., 2004. – 19 с.
- Воронин А. Д. Основы физики почв / А. Д. Воронин. – М. : Изд-во МГУ, 1986. – 246 с.
- Гассен Д. Прямой посев – дорога в будущее / Д. Гассен, Ф. Гассен. – Д. : Корпорация «Агросоюз», 2004. – 206 с.
- Долгилевич М. И. Пыльные бури и агролесомелиоративные мероприятия / М. И. Долгилевич. – М. : Колос, 1978. – 160 с.
- Долгилевич М. И. Устойчивость почв к ветровой эрозии и её природа / М. И. Долгилевич // Почвоведение. – 1977. – № 3. – С. 130-134.

- Кирюшин В. И.** Минимализация обработки почв: перспективы и противоречия / В. И. Кирюшин // Земледелие. – 2006. – № 5. – С. 12-14.
- Косолап М. П.** Система землеробства No-till / М. П. Косолап, О. П. Кротінов. – К. : Логос, 2011. – 352 с.
- Наукові та прикладні основи** захисту ґрунтів від ерозії в Україні / За ред. С. А. Балюка та Л. Л. Товажнянського. – Х. : НТУ «ХПІ», 2010. – 460 с.
- Патент 29131** Україна, (51) МПК A018 13/16. Спосіб визначення протидефляційної стійкості ґрунтів / А. В. Мелашич, С. Г. Чорний, О. В. Письменний; заявники і патентовласники: Інститут землеробства південного регіону УААН і Миколаївський державний аграрний університет. – № U200706516; заявл. 11.06.2007; опубл. 10.01.2008, Бюл. № 1. – 4 с.
- Черный С. Г.** Изменение климата и проблема дефляции в Южной и Сухой степи Украины / С. Г. Черный, О. М. Хотиненко // Инновации, землеустройство и ресурсосберегающие технологии: Сб. докладов Всероссийской научно-практической конференции. – Курск, 2007. – С. 124-129.
- Чорний С. Г.** Вітростійкість ґрунтового покриву Степу України / С. Г. Чорний, О. М. Письменний // Вісник ХНАУ. – 2008. – № 2. – С. 147-150.
- Чорний С. Г.** Пилова буря 23–24 березня 2007 року на Півдні України: поширення, метеорологічні та ґрунтові чинники, втрати ґрунту. / С. Г. Чорний, О. М. Хотиненко, О. В. Письменний та ін. // Вісник аграрної науки. – 2008. – № 9. – С. 46-51.
- Чорний С. Г.** Протидефляційна стійкість ґрунтів Степу України: методика визначення та деякі результати / С. Г. Чорний, О. В. Письменний, О. В. Пилипенко // Регіональні проблеми України: географічний аналіз та пошук шляхів вирішення // 36. н. пр. – Херсон, 2011. – С. 365-369.
- Billbro J. D., Fryrear D. W.** Wind erosion losses as related to plant silhouette and soil cover // Agronomy Journal. – 1994. – № 86. – Pp. 550-553.
- Chepil W. S.** Soil conditions that influence wind erosion. – USDA Tech. Bul. Washington. 1958. – 39 p.
- Dickey E. C., Shelton D. P., Jasa P. J.** Residue management for soil erosion control. Neb Guide G81-544. Nebraska Cooperative Extension Service. – Lincoln, Nebraska, 1986.
- Hevia G. G., Mendez M., Buschiazzi D. E.** Tillage affects soil aggregation parameters linked with wind erosion // Geoderma. – 2007. – V. 140. – Is. 1-2. – Pp. 90-96.
- Horning L. B., Stetler L. D., Saxton K. E.** Surface residue and soil roughness for wind erosion protection // Transactions of the American Society of Agricultural Engineers. – 1998. – № 41. – Pp. 1061-1065.
- Rhoton F. E.** Influence of Time on Soil Response to No-Till Practices // Soil Sci. Soc. Am. Journal. – 2000. – V. 64. – Pp. 700-709.
- Thomas G. A., Dalal R. C., Standley J.** No-till effects on organic matter, pH, cation exchange capacity and nutrient distribution in a Luvisol in the semi-arid subtropics // Soil and Tillage Research. – 2007. – V. 94 – I. 2. – Pp. 295-304.
- Thorne M. E., Young F. L., Pan W. L., Bafus R., Alldredge J. R.** No-till spring cereal cropping system reduce wind erosion susceptibility in wheat/fallow region of the Pacific Northwest // Journal Soil and Water Conservation Society. – 2003. – № 58(5). – Pp. 250-257.
- Tiscareño-López M., Velásquez-Valle M., Salinas-García J., Báez-González A. D.** Nitrogen and Organic matter losses in No-till corn cropping system // Journal of the Am. Water Resources Association. – 2004. – № 40. – Pp. 401-408.

Надійшла до редколегії 10.04.12

КОНЦЕПЦІЯ І ТЕХНОЛОГІЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ФІЗИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОБРОБЛЮВАНОВОГО ШАРУ ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТОГО СУПІЩАНОГО ГРУНТУ ЗОНИ ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

Національний науковий центр «Інститут землеробства НААН України»

Для умов дерново-підзолистих супіщаних ґрунтів зони Полісся України запропоновано концепцію і технологію оптимізації фізичних параметрів орного шару, яка передбачає урахування зміни вимог до них в онтогенезі польових культур.

Згідно прийнятої робочої гіпотези рослини контактують у двох основних станах – насіння і вегетуючих рослин з різними, у більшості протилежними, вимогами до фізичних умов ґрунтового середовища у кожному із зазначених станів культур. Їх важко, почасти неможливо, забезпечити, надаючи ґрунту будь-який вихідний стан перед сівбою.

Розроблена технологія передбачає сівбу за початково щільного стану ґрунту з наступним розуцільненням на усю глибину орного шару після проростання насіння до появи сходів. Таким чином, оптимально задовольняються вимоги рослин на стартовому етапі розвитку (щільний ґрунт) і під час вегетації (пухкий його стан).

Багаторічні експериментальні дані свідчать про доцільність звернути увагу на необхідність удосконалення методів визначення оптимальних фізичних параметрів шару, що обробляється, як теоретичного підґрунтя технологій обробітку ґрунту.

Ключові слова: ґрунт, дерново-підзолистий, супіщаний, обробіток ґрунту, польовий дослід.

А.М. Малиенко

Национальный научный центр «Институт земледелия НААН»

КОНЦЕПЦИЯ И ТЕХНОЛОГИЯ ОПТИМИЗАЦИИ ФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОБРАБАТЫВАЕМОГО СЛОЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ СУПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ ЗОНЫ ПОЛЕСЬЯ УКРАИНЫ

Для условий дерново-подзолистых супесчаных почв зоны Полесья Украины предложена концепция и разработана технология оптимизации физических параметров обрабатываемого слоя, учитывающая изменчивость требований к ним полевых культур в онтогенезе.

Согласно принятой рабочей гипотезе растения контактируют с почвой в двух основных состояниях – семян и вегетирующих растений. При этом проявляются различные, большей частью противоположные требования к физическим условиям почвы при каждом из названных состояний. Их сложно, большей частью невозможно, совместить, задавая почве любое исходное сложение перед посевом.

Разработанная технология предполагает посев в исходно плотную почву с последующим ее разрыхлением на всю глубину пахотного слоя после прорастания семян до появления всходов. Таким образом, оптимально удовлетворяются требования растения на стартовом этапе развития (плотная почва) и во время вегетации (рыхлая почва).

Многолетние экспериментальные данные обращают внимание на необходимость совершенствования методов установления оптимальных физических параметров обрабатываемого слоя, как теоретической базы для развития технологий обработки почвы.

Ключевые слова: почва, дерново-подзолистая, супесчаная, оптимальная плотность, обработка почвы, полевой опыт.

A. M. Malienko

The National Scientific Centre for Agriculture «Institute of Agriculture of NAAS»

CONCEPTION AND TECHNOLOGY FOR OPTIMIZATION OF PHYSICAL PARAMETERS OF ARABLE LAYER OF SOIL-PODZOLIC SANDY-LOAM SOILS OF POLESIE ZONE OF UKRAINE

For the conditions of sod-podzolic sandy soil of woodland zone of Ukraine the concept and the technology for optimization the physical parameters of the arable layer is developed, taking into account the variability of the requirements for them in the ontogenesis of field crops.

According to the accepted hypothesis the plants are in contact with the soil in two key states – the seed and growing plants. Different and mostly opposing demands on the physical conditions of

the soil at each of the mentioned states are exhibited. They are difficult, mostly impossible, to reconcile, setting the initial consolations of any soil before sowing.

The technology of planting in the baseline assumes the sowing in a dense soil with subsequent loosening of the entire depth of arable layer after germination before seedling emergence. Thus, the optimum plant requirements are met in the initial stages of development (dense soil) and during the growing season (loose soil).

Long-term experimental data draw attention to the need for improving methods for determining the optimal physical parameters of the arable layer, as a theoretical framework for the development of technologies of tillage.

Key words: soil, sod-podzolic, sandy-loam, optimal density, soil tillage, field experiment.

Исследования по данной проблематике были начаты нами в 1986 году как сугубо прикладные. Их целью было совершенствование технологии возделывания картофеля на дерново-подзолистых супесчаных почвах зоны Полесья Украины. Высокая хозяйственная эффективность полевых экспериментов обусловила необходимость их теоретического осмысления.

Мы полагаем, что выполненные нами исследования, обсуждение полученных результатов, несмотря на их исходную агротехнологическую направленность, могут заинтересовать почвоведов, в частности, причастных к проблемам физики почвы.

Среди показателей, характеризующих физические условия почвы для роста и развития культурных растений наиболее часто используемым в научных исследованиях, связанных с почвенной и земледельческой тематикой, является плотность сложения почвы.

Для установления оптимальных ее параметров сложилась определенная методика. Она предусматривает проведение вегетационных или лабораторно-полевых опытов, в которых задается определенная градация исследуемого фактора. На этих искусственно созданных фонах высеваются опытные культуры. По их продуктивности оценивается оптимальный диапазон значений плотности сложения почвы (Долгов, 1968; Ревут, 1971; Вальдгауз, 1978; Зимкувене, 1986; Бондарев, 1988; Медведев, 1990).

Используется также иной метод установления оптимальной плотности почвы. Он предусматривает выделение в производственных посевах участков с различным состоянием культур. На основании оценки их продуктивности с параллельными замерами плотности сложения почвы устанавливается связь между ними (Tomas, 1992).

Общим для упомянутых методов является оценка реакции исследуемых растений на предварительно заданные или сложившиеся физические параметры почвы.

Данные, полученные в подобных исследованиях, служат исходными ориентирами при оценке физического состояния почвы, которое необходимо создать приемами обработки, за счет рационального чередования культур в севооборотах, применения удобрений, химических и водных мелиораций.

Признавая несомненную полезность подобного, достаточно универсального диагностического показателя, каковым является плотность сложения почвы, редко обращается внимание на определенные трудности установления ее оптимумов и использования их в практике земледелия. Имеется в виду неизбежное уплотнение обрабатываемого слоя при подготовке семенного ложе, внесении удобрений, посеве, обработке полей пестицидами, механической обработке почвы при уходе за посевами.

Определенная сложность связана также с необходимостью более точного определения интервала времени, в течение которого оптимальные значения плотности сложения почвы должны быть созданы и, по возможности, сохранены. Ими, чаще всего, принято считать период, непосредственно предшествующий посеву полевых культур (Бондарев, 1988; Медведев, 1990). Аргументация подобного подхода состоит в признании особого значения для культурных растений условий стартового этапа их развития. Кроме того, предполагается отсутствие реальных возможностей противодействия дрейфу показателей исходной плотности почвы после посева (посадки) культур. Рассматриваемый подход в применении к полевым экспериментам определяет сложность получения планируемых результатов в тех случаях, когда

заданные уровни варьирования плотности изменяются вскоре после их закладки. В целом же предполагается влияние на урожайность исходных параметров, как управляемых факторов, а изменение их во времени под влиянием внешней среды рассматривается, как часть процесса формирования урожая, в значительной степени предопределенного значениями заданных уровней сложения почвы.

Наш экспериментальный опыт, складывавшийся в течение более сорока лет изучения проблем обработки почв легкого гранулометрического состава, ставит под сомнение универсальность изложенных выше принципов. Нашу позицию удобно проиллюстрировать на примере возделывания картофеля. При выращивании данной культуры характерен длительный период от посадки клубней до появления всходов. В оптимальных условиях он составляет 23–25 дней, в особо неблагоприятных погодных условиях достигает 30–40 дней (Замотаев, 1982).

В подобном случае почвенные условия при посадке клубней и таковые ко времени появления всходов могут быть различными. Сложение почвы легкого гранулометрического состава, полученное при посадке, со значительной степенью вероятности может изменяться и, как правило, изменяется под влиянием природных и антропогенных факторов. Обычно после посадки почва подвергается достаточно интенсивному воздействию машинотракторных агрегатов по довсходовому уходу за посадками. Не исключено также уплотняющее действие осадков и просто фактора времени.

Учет особенностей развития растений картофеля в период от посадки клубней до формирования урожая, неустойчивость рыхлого сложения почв легкого гранулометрического состава послужил основанием к разработке принципиально новой для зоны Полесья Украины гипотезы, а затем и технологии обработки почвы, получившей определение **«двухфазной»**. В публикациях на английском языке – «two steps cultivation system».

Первая ее «фаза» реализуется осенью и весной. Она включает комплекс приемов, необходимых для контроля засоренности поля, заделки органических и минеральных удобрений, предпосадочную подготовку почвы, посадку и довсходовый уход. При этом глубина обработки не превышает 8–10 см.

Вторая – собственно основная обработка почвы, выполняется рыхлящими орудиями плоскорезного типа на полную глубину обрабатываемого слоя незадолго до появления всходов после посева (посадки) культур (рис. 1).

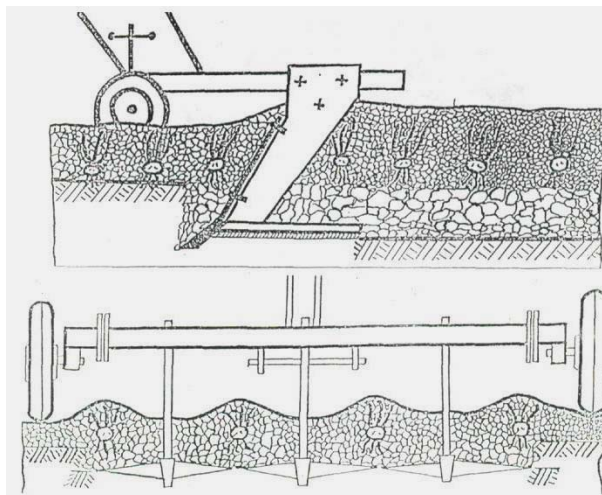


Рис. 1. Схема выполнения второй «фазы» обработки почвы при выращивании картофеля

В основу предлагаемой технологии было положено допущение о наличии в онтогенезе культур двух периодов с различными требованиями к физическим

условиям почвы. Первый из них – от посадки до появления всходов (прорастания почек, формирования проростков, корней) обеспечивается запасами пластических веществ в клубнях. В этот период растения зависят от ограниченного числа факторов и объема почвенной среды. Второй из выделенных периодов – от появления всходов до завершения вегетации, определяется свойствами всего обрабатываемого слоя.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования осуществлялись в 1986–2006 годах в южной части Полесья в Житомирско-Коростенском агропочвенном районе. Почвы опытных участков – дерново-среднеподзолистые супесчаные (табл. 1).

Таблица 1

Гранулометрический состав дерново-подзолистой почвы

Горизонт	Глубина, см	Содержание частиц, мм (%)						Содержание	
		1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001	физического песка (частиц >0,001 мм)	физической глины (частиц <0,001 мм)
A ₁	0–22	21,97	30,47	35,60	4,94	1,99	5,03	88,04	11,96
A ₂	22–40	21,92	28,53	38,01	2,00	4,95	4,55	88,49	11,51
B	40–75	21,51	30,01	36,45	1,22	2,43	9,38	86,97	13,00

Данные почвы характеризуется высокой плотностью, низкой влагоемкостью, высокой водопроницаемостью. Растения на такой почве используют плодородие, главным образом, пахотного слоя, агрохимические и агрофизические свойства которого более благоприятны.

На опытных участках содержание фракций песка в пахотном (0–22 см) и подпахотном слое (22–40 см) составляло 88 %, физической глины – 12 %, содержание гумуса – 0,87 и 0,33 %, соответственно.

Согласно агроклиматическому справочнику климат в районе проведения исследований умеренно-континентальный. Среднегодовая температура +6,8 °С, осадки – 621 мм. Среднегодовая сумма температур выше +5 °С – 2659, выше 10 °С – 1992.

Основной метод исследований – полевой опыт. В серии таких опытов изучалась сравнительная эффективность зяблевой, весенней вспашки, различных вариантов сочетания мелкой допосадочной обработки с последующим плоскорезным рыхлением за 2–3 дня до появления всходов культуры или на начальных этапах их органогенеза. Объектами исследований были яровые культуры: картофель, кукуруза, овес и его смеси с бобовыми.

Размер опытных делянок 80–100 м², повторность вариантов трех-, четырехкратная. Для пропашных культур экспериментально установлена оптимальная глубина рыхления в пределах 23–27 см. Для культур сплошного сева – 18–20 см.

Довсходовое рыхление осуществлялось культиватором-плоскорезом. В опытах с культурами сплошного сева, культиватор агрегатировался с катком для восстановления контакта проростков с почвой по ходу стойки рабочего органа.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение динамики плотности почвы в связи со сроками проведения основной обработки свидетельствуют в пользу наиболее позднего рыхления на глубину 23–27 см, проведенного незадолго до появления всходов. В данном случае

благоприятные параметры плотности в пределах 1,38–1,42 г/см³ сохраняются в течение всего вегетационного периода картофеля (рис. 2). Критической плотностью для картофеля является величина 1,50 г/см³.



Рис. 2. Влияние сроков проведения рыхления на динамику плотности в 0–30 см слоя почвы

Технология двухфазной обработки почвы изменяет в обрабатываемом слое динамику запасов минеральных соединений азота. Отмечается существенное смещение сроков максимальной их мобилизации на более поздние этапы развития культуры. При этом обеспечивается повышение содержания минерального азота по сравнению с отмечаемыми по фону весенней вспашки на 20–22 кг/га к началу бутонизации, 33–41 кг/га – ко времени цветения (рис. 3).

Таким образом, в какой-то мере достигается синхронизация биологических процессов в почве, со временем наибольшей потребности культуры в азотном питании.

Низкая поглотительная способность и буферность почв легкого гранулометрического состава предполагает целесообразность активизации их биологической активности путем рыхления в сроки максимально приближенных по времени к периоду вегетации полевых культур. Этим можно объяснить положительное влияние технологии двухфазной обработки дерново-подзолистой супесчаной почвы на урожайность картофеля (табл. 2).

Проведение основной безотвальной обработки почвы после получения полных всходов картофеля было малоэффективным. Очевидно, это связано с отрицательным влиянием временного нарушения контактов корневой системы с почвой при уже развившейся надземной массе растений.

В связи с положительными результатами, полученными в опытах с культурой картофеля, определилась необходимость формирования общей рабочей гипотезы относительно принципов управления физическим режимом почв легкого гранулометрического состава. Для этого число исследуемых культур было расширено.

В поисковых исследованиях 1987 года наблюдалось резкое отрицательное влияние глубокого послепосевного рыхления почвы на состояние посевов люпина, льна и их урожайность. Отсутствовало положительное действие приема и в посевах

озимых колосовых. В первом случае это было связано со значительным изреживанием посевов. На озимых колосовых – с уплотнением почвы до равновесных значений за осенне-зимний период.



Рис. 3. Запасы минерального азота NO_3+NH_4 кг/га в 0-30 см слое под картофелем в зависимости от системы ее основной обработки

В дальнейшем объектами исследований были избраны яровые культуры: овес и его смеси с бобовыми (зерновые культуры сплошного сева) и кукуруза (зерновая пропашная культура).

Таблица 2

Влияние сроков осуществления второй фазы двухфазной обработки на урожайность клубней картофеля

Сроки основной обработки почвы	Урожай картофеля, ц/га (по годам)				
	1986	1987	1988	в среднем $\pm$ ц/га	$\pm$ %
Перед посадкой /контроли/	39,0	37,6	30,5	35,7	100
Сразу после посадки	43,5	41,3	36,1	40,3	113
После первого довсходового ухода	43,9	41,5	36,2	40,5	113
После второго довсходового ухода	50,0	49,4	37,3	45,6	128
Начало всходов	46,5	44,7	34,1	41,8	117
Полные всходы	44,2	42,6	33,2	40,0	112
НСР ₀₅ , ц/га	2,50	2,80	2,20		

В опытах с кукурузой (1992–1993 гг.) отмечено положительное влияние глубокого послепосевного рыхления почвы на продуктивность культуры выразившееся в повышении урожайности зерна на 14–20 % (Вильярубия, 1998).

В отличие от картофеля в посеве кукурузы период времени осуществления приема, который не вызывает отрицательной реакции культуры, оказался несколько шире. Установлена возможность его проведения от времени закрепления проростка в почве до наступления фазы 3–5 листьев.

Первым этапом исследований с овсом было установление оптимального срока проведения рыхления. Им оказался относительно узкий диапазон времени – от появления зародышевых корней до формирования проростков длиной до 2–3 см.

Увеличение урожайности зерна на вариантах двухфазной обработки почвы составляло от 5,4 до 13,7 %. В то же время увеличение массы соломы достигало 27 %, что косвенно свидетельствует об улучшении, в первую очередь, азотного питания растений (Ворона, 1999).

Полученные результаты имеют непосредственное практическое значение, поскольку позволяют достигнуть повышения продуктивности культур без дополнительных затрат материалов, энергии, времени. Одновременно они обращают внимание на необходимость некоторой переоценки сложившихся представлений о путях оптимизации физических условий роста и развития полевых культур на дерново-подзолистых супесчаных почвах.

Научный аспект рассмотренного технологического приема получает агрофизическую, биологическую и методологическую трактовку. С точки зрения оптимизации агрофизических условий роста, и развития полевых культур главным представляется наличие дифференцированных требований к ним растений на различных этапах органогенеза.

Сущность полученных результатов состоит, очевидно, в том, что для набухания семян, их прорастания, закрепления проростков в почве желательна относительно высокая плотность. При этом оптимально обеспечиваются требования растений на начальном этапе их развития, создаются благоприятные условия перехода с эндоспермального на корневое питание.

В этот период относительно малую роль играют физические свойства всего обрабатываемого слоя и более значительную – локальная зона, непосредственно примыкающая к семени. Именно в связи с этим, расположение семян на плотном ложе, прикатывание посевов для получения дружных и равномерных всходов относится к аксиомам земледелия (Мосолов, 1950; Колясев, 1955; Крашенинников, 1963). В нашем случае этот эффект достигается сохранением ко времени посева плотного исходного сложения почвы.

В дальнейшем по мере развития корневой системы и надземной массы необходимость в этих стартовых параметрах отпадает. Более того, они могут сказываться отрицательно, препятствуя впитыванию влаги, усиливая сток воды в микропонижения и с поля, провоцируя эрозию. С этого времени первостепенную роль играет некапиллярная проводимость почвы, а степень развития корневой системы и общие запасы влаги в корнеобитаемом слое. Скорость передвижения капиллярной влаги в почве в наиболее вероятном ненасыщенном состоянии примерно на порядок уступает скорости роста корней (Журавлев, 1959).

Пассивный этап в жизни растений в их взаимодействии с почвой завершается начальными этапами формирования проростков и корней. Для активного этапа необходимы иные условия, лучше реализуемые при относительно рыхлом состоянии почвенной среды.

Выполненные нами исследования дают основания полагать, что на бесструктурных почвах, каковыми являются супеси, грубокомковатое сложение, созданное целенаправленно и в определенное время, может быть благоприятным для роста и развития полевых культур. В теории и практике земледелия оно, как правило, оценивается отрицательно (Шевлягин, 1961).

Условно мы называем подобное сложение почвы «псевдоструктурным». В данном случае положительный эффект в оптимизации водного и воздушного режима почвы очевиден. В то же время водопрочная структура с агрегатами оптимальных агрономически ценных размеров отсутствует.

При осуществлении довсходового рыхления плоскорезным рабочим органом на глубину, превышающую 20 см, при малой скорости движения агрегата почва крошится на крупные блоки (рис. 4). Именно подобное сложение пахотного слоя было благоприятным для роста, развития и формирования высокой продуктивности исследуемых культур. Для этого имеется ряд причин. Мы уже отмечали отсутствие

существенного повреждения посевов при такой технологии основной обработки почвы. Нарушение контактов проростков культур с почвой по движению стойки рыхлителя в посевах колосовых культур устраняется установкой за ней прикатывающего устройства.

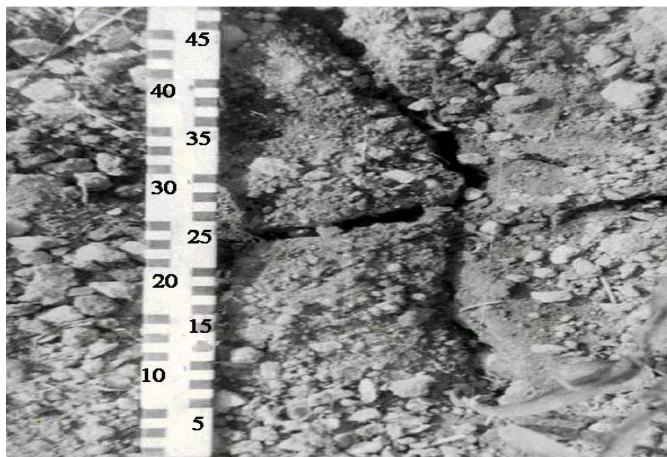


Рис. 4. Глыбистое сложение пахотного слоя в результате довсходового плоскорезного рыхления почвы

Следует отметить, что такое искусственно созданное строение пахотного слоя трудно поддается формальному описанию и сложно моделируется. В данном случае по вертикали и горизонтали обрабатываемого слоя формируется множество крупных трещин, которые сохраняются на протяжении всего вегетационного периода.

При таком строении пахотного слоя формируется провальная его водопроницаемость, полностью устраняется скопление и длительное застаивание воды в пониженных элементах рельефа поля, выравниваются условия влагообеспеченности растений и аэрации почвы по площади посева.

В ходе наших восьмилетних наблюдений за режимом влажности почвы в посевах овса и его смесей с бобовыми запасы влаги в метровом слое в течение вегетации при двухфазной обработке превышали наблюдаемые по зяблевой вспашке на 20 мм (Ворона, 1999).

По глубине интенсивности воздействия на почвенные условия жизни растений данный агротехнологический прием можно рассматривать как микромелиоративный.

На подобные особенности движения влаги в почве, в ее естественном состоянии указывает ряд авторов (Шеин, 2001; Медведев, 2004). Речь идет о преференциальных потоках воды по крупным порам трещинам.

В нашем случае эти, наблюдаемые в природных условиях, свойства почвы многократно активизируются. Пахотный слой в отношении влаги атмосферных осадков представляет транзитную зону.

На основании полученных результатов можно предполагать, что в теории и практике обработки почвы помимо структурного и бесструктурного состояния следует выделить ее трещиноватое состояние. Отдельного внимания заслуживает разработка методологии оценки подобного состояния посева. Стандартные методы определения плотности, твердости, водо- и воздухопроницаемости, оценки структуры в данном случае далеко не всегда пригодны.

Особенностью обсуждаемых результатов является то, что они получены в условиях полевых опытов со значительной поверхностью экспериментальных делянок с наличием культурных растений, активно влияющих на процессы уплотнения почвы и формирующих своеобразную надпочвенную среду – климат поля. По-видимому, такие исследования могут предоставлять интерес не только для практики, но и в формировании теории обработки почвы.

С теоретических позиций интересен тот факт, что абсолютно одинаковое агрегатное состояние почвы, в данном случае грубокомковатое, глыбистое, созданное перед посевом и после формирования проростков культур, оценивается совершенно по-разному (рис. 5).

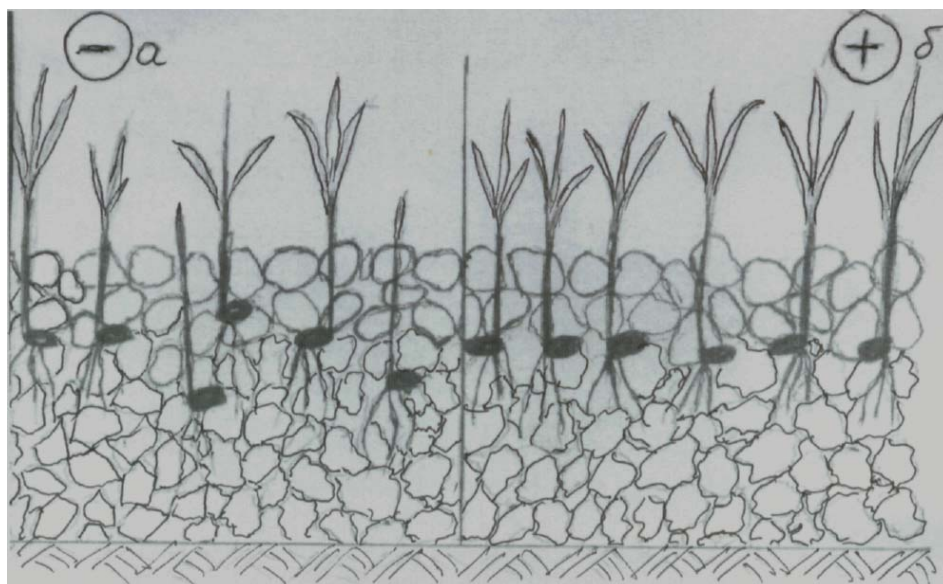


Рис. 5. Характер влияния грубокомковатого агрегатного состояния почвы, созданного перед (а) и после посева (б) на стартовом этапе развития культуры

Иной аспект, характерный для почв легкого гранулометрического состава, состоит в нежелательности активизации в них биологических процессов за счет глубокой интенсивной зяблевой обработки задолго до начала вегетации, во избежание потерь элементов минерального питания, в частности азота, преждевременной диффузии в надпочвенную атмосферу CO_2 . Согласно исследованиям Б. Н. Макарова (1952) до 50 % вегетативной массы растений формируется за счет углекислого газа, диффундирующего из почвы в приземный слой воздуха.

С этих позиций динамика биологической активности почвы, роста, развития культурных растений, использование ими элементов почвенного плодородия могут быть представлены как своеобразные биологические волны, тесно связанные годовыми климатическими циклами.

Полученные результаты дают основание предполагать для почв легкого гранулометрического состава целесообразность регулирования их физического состояния таким образом, чтобы определяемые им пики биологической активности почвы и потребность растений в элементах почвенного и воздушного питания совпадали во времени, как бы попадали в резонанс. В подобном случае энтропия в системе почва – растения будет минимальной.

Рассматривая двухфазную обработку почвы как специфическую технологию, направленную на оптимизацию физических условий в почвах с неустойчивым сложением, возникает необходимость обратиться к вопросам методики определения оптимумов структурно-агрегатного состояния почвы.

В подавляющем большинстве исследований по этой проблематике отмечается отрицательное влияние чрезмерно рыхлого, тем более глыбистого сложения почвы, в первую очередь, вследствие нарушения контактов семян с почвенными агрегатами неравномерной глубины их заделки, пересыхания посевного слоя (Мосолов, 1950; Медведев, 2004). Такое сложение обуславливает неравномерность проявления всходов, низкую полевую всхожесть и, как следствие, низкую продуктивность культур.

Посев в предварительно подготовленную почву позволяет учитывать совокупный эффект стартовых условий – для получения всходов и реакцию на эти же условия вегетирующих растений без возможности оценить специфическую роль в формировании продуктивности культур каждого из этих этапов.

Стандартные методологические подходы в установлении оптимумов структуры и сложения главное внимание сосредотачивают на моделях пространственного изменения физических свойств обрабатываемого слоя.

В результате исследований на этой методологической основе предлагаются дифференцированные профили структуры и сложения почвы, оптимальные для стартовых условий жизни растений. На эти модели сориентирована земледельческая практика, отраженная в многочисленных учебных пособиях и практических рекомендациях. Она присутствует в современной теории и практике системы зяблевой обработки почвы, когда с осени создается максимально рыхлое сложение, а ко времени сева почва приводится в более плотное, дифференцированное по профилю состояние с уплотненным подсеменным и рыхлым надсеменным слоем. Однако эта модель как бы останавливается на времени заделки семян. Она оставляет без должного внимания период, между посевом, появлением всходов и формированием урожая. В ее арсенале остается пассивное наблюдение за дрейфом физических параметров почвы под влиянием естественных и в меньшей мере антропогенных факторов.

Проведенные нами исследования позволяют предполагать наличие не только пространственной, но и значимой для формирования продуктивности посевов временной модели оптимизации физических свойств почвы обрабатываемого слоя, основанной на онтогенетической изменчивости требований к ним полевых культур.

Рассматриваемая модель, базирующаяся на принципе двухфазности основной обработки почвы, оказалась адекватной для супесчаных почв и ряда яровых культур. Она продлевает активное воздействие на почву и культурные растения в послепосевной и послеуборочный периоды, более того, делая упор именно на них (Томас, 1992; Малиненко, 1993).

По-видимому, методика агрофизических экспериментов, призванных выявить оптимальные параметры почвенных условий, должна в определенных случаях учитывать рассмотренные нами результаты и планироваться таким образом, чтобы обеспечивалась возможность установления реакции растений на изучаемые факторы раздельно на стартовом этапе развития растений, и во время их вегетации. Технология двухфазной обработки почвы, модифицированная к условиям лабораторно-полевых, либо вегетационных опытов, очевидно, позволяет получать подобную информацию.

В этой связи уместно привести высказывание немецкого физика В. Гейзенберга (цитируется по А. Гурштейну, 1991): «То, что мы исследуем не просто природа, а природа, которая выступает в том виде, в каком она выявляется благодаря нашему способу постановки вопросов».

Действительно, общепринятой методикой ставится вопрос в пределах выяснения реакции растений на почвенные условия, созданные перед посевом культур. Именно на него получается ответ, не более того. Вопрос, поставленный нами в иной форме с изменением заданного сложения обрабатываемого слоя на значительную глубину в процессе развития растений, обосновывает совершенно иную практику.

ВЫВОДЫ

Полученные результаты позволяют сделать некоторые предварительные выводы для дерново-подзолистых супесчаных почв.

1. Растения вступает в контакт с почвой в различных формах: а) семян либо вегетативных органов размножения; б) проростков; в) вегетирующих растений.
2. Требования семян или вегетативных органов размножения растений к физическим условиям почвы ограничиваются зоной, непосредственно примыкающей к месту их заделки.

3. Требования вегетирующих растений распространяются на всю корнеобитаемую зону.

4. Для прорастания семян лучшие физические условия складываются при относительно плотном сложении посевного слоя почвы, при минимальном влиянии свойств обрабатываемого и корнеобитаемого слоя. Во время вегетации предпочтительно более рыхлое сложение посевного и всего обрабатываемого слоя.

5. Изменение требований растений к физическим свойствам почвы происходит в ограниченный промежуток времени в течение смены типа питания с гетеротрофного на аутоотрофное.

6. На дерново-подзолистых супесчаных почвах при возделывании определенных культур возможно и целесообразно изменение физического состояния на всю глубину пахотного слоя в соответствии с различными требованиями к условиям почвенной среды семян, проростков и вегетирующих растений.

7. Адаптируемыми к технологии двухфазной обработки являются яровые культуры: картофель, зерновые колосовые, зерновые бобовые, кукуруза. Они отличаются крупными семенами и, соответственно, мощными проростками, которые менее травмируются при рыхлении почвы.

8. Установленные факты и закономерности позволяют поставить вопрос о необходимости совершенствования методов исследований, связанных с определением оптимальных физических условий роста и развития полевых культур. (Во всяком случае, это справедливо для почв легкого гранулометрического состава).

Акцентируя внимание на предварительности выводов, мы имеем в виду то обстоятельство, что разработка представленных теоретических подходов и путей их практической реализации в форме технологии двухфазной обработки почвы является, только началом исследований в данном направлении.

В заключение мы хотим подчеркнуть, что высказанные нами соображения ни в коей мере не отрицают научную концепцию, выделяющую особую роль в развитии растений почвенных условий стартового этапа. Полученные нами результаты лишь ставят под сомнение ее универсальность.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Бондарев А. Г.** Некоторые пути определения оптимальных параметров свойств почв / А. Г. Бондарев, В. В. Медведев // Теоретические основы и методы определения оптимальных параметров свойств почвы. Научные труды почвенного института им. В. В. Докучаева. – М., 1988. – Вып. 4. – С. 84-98.
- Вальдгауз Э. Г.** Исследования величин оптимальной плотности дерново-подзолистых почв под сельскохозяйственные культуры / Э. Г. Вальдгауз // Эффективность севооборотов обработки почвы, применения гербицидов в растениеводстве. – Л., 1978. – С. 41-61.
- Вильярубия А. Д. Д.** Ефективність строків і способів двофазного обробітку дерново-підзолистого супіщаного ґрунту в зоні Полісся України / А. Д. Д. Вильярубия : Автореф. дис. ... канд. с.-г. наук. – Київ, 1998. – 18 с.
- Ворона А. Л.** Ефективність способів обробітку дерново-підзолистого супіщаного ґрунту під овес в умовах Полісся України / А. Л. Ворона : Автореф. – К., 1999. – 16 с.
- Гурштейн А.** Вне истории не может быть исторической правды / А. Гурштейн // Природа. – 1991. – № 2. – С. 9-13.
- Долгов С. И.** Изучение оптимального (для культурных растений) сложения пахотного слоя почвы / С. И. Долгов, С. А. Модина, В. Б. Личманов // III Делегатский съезд почвоведов. – М. : Наука, 1968. – 21 с.
- Журавлев М. З.** Водный режим чернозема Лесостепи Западной Сибири / М. З. Журавлев // Изд-во Омского с.-х. ин-та им. Кирова. – Омск, 1959. – 190 с.
- Замотаев А. И.** Погодные условия и урожай картофеля / А. И. Замотаев, А. Ф. Гриневич // Культура картофеля в различных почвенно-климатических зонах. – М. : НИИКС, 1982. – С. 2-12.
- Зимкувене А. В.** Оптимальная плотность суглинистых почв и ее определяющие факторы / А. В. Зимкувене : Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. – Каунас, 1986. – 20 с.
- Качинский Н. А.** Физика почвы. Ч.1 / Н. А. Качинский. – М. : Высш. шк., 1965. – 322 с.
- Колясев Ф. Б.** Применение катков в земледелии / Ф. Б. Колясев. – Л. : Лениздат, 1955. – 84 с.

Крашенинников Н. Н. Прикатывание почвы и урожай / Н. Н. Крашенинников. – М. : Изд. с.-х. литературы журналов и плакатов. – 1963. – 120 с.

Макаров Б. Н. Динамика газообмена между почвой и атмосферой в течение вегетационного периода под различными культурами севооборота / Б. Н. Макаров // Почвоведение. – 1952. – № 3. – С. 23-26.

Малієнко А. М. Режим вологості дерново-підзолистого супіщаного ґрунту за двофазного обробітку / А. М. Малієнко, Л. І. Ворона, Ю. А. Нетреба // Агрохімія і ґрунтознавство. – Х., 2011 р. – № 76. – С. 103-108.

Малієнко А. М. Концепція двофазного основного обробітку дерново-підзолистого супіщаного ґрунту / А. М. Малієнко, І. М. Голодний // Землеробство. – 1993. – Вип. 68. – С. 3-7.

Медведев В. В. Изменчивость оптимальной плотности сложения почв и ее причины / В. В. Медведев // Почвоведение. – 1990. – № 5. – С. 20-31.

Медведев В. В. Плотность сложения почвы – генетический, экологический и экономический аспекты / В. В. Медведев, Т. Е. Лындина, Т. Н. Лактионова. – Х., 2004. – 243 с.

Мосолов В. П. Роль катка при возделывании яровых зерновых культур / В. П. Мосолов, З. Н. Мамаева. – М. : Сельхозгиз, 1950. – 140 с.

Ревут И. Б. Структура и плотность почвы - основные параметры, кондиционирующие почвенные условия жизни растений / И. Б. Ревут, Н. Я. Соколовская, А. М. Васильев // Пути регулирования почвенных условий жизни растений. – Л. : Гидрометеиздат, 1971. – С. 90-108.

Рубин С. С. Реакция отдельных сельскохозяйственных культур на плотность оподзоленной черноземной почвы / С. С. Рубин, В. П. Ильиченко, П. А. Рубан // Землеробство. – 1973. – Вып. 34. – С. 79-83.

Станков Н. З. Корневая система полевых культур / Н. З. Станкевич. – М. : Колос, 1964. – 180 с.

Шевлягин А. И. Агрономическая оценка плотности сложения пахотного слоя / А. И. Шевлягин // Науч. тр. Сибирского НИИСХ. – 1961. – № 7. – С. 3-14.

Шеин Е. В. Движение воды в почве / Е. В. Шеин // Природа. – 2001. – № 10. – С. 56-61.

Malienko A. M., Golodny I. M. Two-step cultivation system for optimization of physical regime on loamy-sand sod-podzolcc soils // Proceedings of the 13th International Conf. ISTRO. – Aalborg, Denmark. – 1994. – Vol. 11. – P. 877-882.

Tomas G., Hacanson I. Effect of soil compaction on development and nutrient uptake of peas // Swedish Journ. Of Arg. Res. – 1992. – Vol. 22. – P. 13-17.

Рекомендує до друку
Г. А. Мазур

Надійшла до редколегії 04.04.12

ХІМІЯ ҐРУНТІВ

УДК 631.4:631.872

И. И. Закорчевный, Л. Н. Михальская, В. В. Швартау

ГУМИНОВЫЕ ВЕЩЕСТВА И УДОБРЕНИЯ НА ИХ ОСНОВЕ

Институт физиологии растений и генетики Национальной академии наук Украины

В обзоре обобщены результаты исследований структуры и свойств гуминовых веществ. Рассмотрены особенности комплексных удобрений на основе гуматов, их преимущества и перспективы использования.

Ключевые слова: органические удобрения, гуминовые вещества, гумус.

I. I. Zakorchevnyi, L. N. Mychalskaja, V. V. Schwartau

Інститут фізіології рослин і генетики Національної академії наук України

ГУМІНОВІ РЕЧОВИНИ ТА ДОБРИВА НА ЇХ ОСНОВІ

В огляді узагальнено результати досліджень структури та властивостей гумінових речовин. Розглянуто особливості комплексних добрив на основі гуматів, їх переваги та перспективи використання.

Ключові слова: органічні добрива, гумінові речовини, гумус.

I. I. Zakorchevnyi, L. N. Mychalskaja, V. V. Schwartau

Institute of plants physiology and genetics of the National Academy of Sciences of Ukraine

HUMIC SUBSTANCE AND FERTILIZERS ON THEIR BASIS

The present paper presents the results of the research of structure and properties of humic substances. Main features of complex humic fertilizers, their advantages and prospects of using are considered.

Keywords: organic fertilizers, humic substance, humus.

Современное растениеводство основано, с одной стороны, на получении максимального и качественного урожая с минимальными затратами, а с другой – сохранении и увеличении почвенного плодородия. Для решения первой задачи используются современные методы обработки почвы, внесения оптимальных доз минеральных и органических удобрений, сидератов и средств защиты растений. Сохранение плодородия почв в современных условиях является одной из самых сложных задач сельского хозяйства. Сюда входят проблемы сохранения органического вещества, физических характеристик и режимов, микробиологической активности и эрозионной устойчивости почв, сохранения гомеостаза элементов питания, отсутствия контаминации тяжелыми металлами (Моргун, 2010).

Известно, что применение в технологиях растениеводства гуминовых удобрений из различных источников позволяет комплексно решить изложенные выше проблемы с минимальными затратами (Шнюков, 2011). Гуминовые вещества являются одними из самых распространенных углеродсодержащих материалов на земной поверхности, они встречаются в почвах, углях, морской и пресной воде, торфах и сапропелях (Кононова, 1963).

© Закорчевный И. И., Михальская Л. Н., Швартау В. В., 2012

Гуминовые вещества (далее – ГВ) – это сложные системы природных органических и минерал-органических соединений, динамически устойчивых к биоразложению, образующихся в результате вторичного синтеза путем самоорганизации в молекулярные ансамбли с высокой степенью неупорядоченности структуры и полидисперсности молекулярных масс (Перминова, 2000).

Согласно общепринятой классификации, основанной на различной растворимости в кислотах и щелочах, различают следующие группы ГВ:

- 1) гуминовые кислоты, растворимые только в щелочных растворах;
- 2) гиматомелановые кислоты, извлекаемые из сырого остатка гуминовых кислот этиловым спиртом;
- 3) фульвокислоты, растворимые в воде, щелочных и кислых растворах. В понимании У. Форсита, в составе последних различают истинные фульвокислоты, которые отделяют из кислоторастворимой фракции на активированном угле, тогда как согласно пониманию И. В. Тюрина, фульвокислотами называют все вещества, находящиеся в кислом фильтрате после осаждения и отделения гуминовых кислот;
- 4) гумин – практически нерастворимое и неизвлекаемое из природных тел и компостов органическое вещество (Орлов, 1993).

Обо всех этих группах гуминовых кислот обычно говорят во множественном числе (например, гуминовые кислоты), так как их состав и свойства меняются в зависимости от источника ГВ. Даже в препаратах, полученных из одного источника – того же типа почв, торфа, угля – они неоднородны, полидисперсны и представлены большим набором сходных по строению, но неидентичных молекул.

Понятием «гумусовые кислоты», обычно, обобщают гуминовые и фульвокислоты (далее – ГФК). Это наиболее подвижные и реакционноспособные компоненты ГВ, участвующие во многих химических процессах природных экосистем (Stevenson, 1982). ГФК представляют собой сложную смесь высокомолекулярных полифункциональных соединений алициклической, ароматической и гетероциклической природы. Несмотря на то, что ГВ – это смесь органических веществ нерегулярной структуры, их макромолекулам присущ ряд внутренних закономерностей. Гуминовые кислоты относят к классу полиоксиполикарбоновых кислот, которые являются природными полиэлектролитами. В общем виде брутто-формула ГВ следующая: $C_xH_yN_zO_pS_qM_r + (Al_2O_3)_l(SiO_2)_m(H_2O)_n$, где М – ионы металлов (Орлов, 1990).

Решение задачи разделения гумусовых кислот на группы заключается в использовании прямого межфазного массообмена в тех вариантах растворения-осаждения, которые основаны на распределении макромолекул между раствором и осадком в зависимости от их размера и состава. Такие варианты обычно включают разделение щелочного раствора ГВ на сложную смесь веществ, одни из которых, выделяющиеся из фазы раствора при его подкислении – гуминовые кислоты, а компоненты, остающиеся в надосадочной жидкости – фульвокислоты. Гиматомелановые кислоты определяют как компоненты, переходящие в раствор при обработке свежего осадка гуминовых кислот этанолом (реже ацетоном или диоксаном). Результаты разделения ГВ в значительной степени зависят от условий проведения эксперимента. Способы расчета равновесия между раствором и осадком для ГВ не разработаны, а процесс разделения описывается на феноменологическом уровне (Шинкарёв, 2000).

Указанные моменты связаны с отсутствием работ по методологии аналитического исследования и численного описания строения органических объектов стохастического характера. В связи с этим, особое внимание уделяется рассмотрению аналитических методов и подходов, которые наиболее часто используются для исследования строения и свойств гуминовых веществ.

Элементный состав ГВ – один из важнейших факторов, который обуславливает выбор методов их химического и физико-химического анализа. По набору элементов

и их количественному содержанию ГК существенно отличаются от живых организмов, минералов и горных пород (Орлов, 1997), как показано на рис. 1 (Перминова, 2000; Perdue, 2003).

Основными элементами, образующими молекулы ГК, являются углерод, водород и кислород. Азот и сера содержатся на уровне 1–5 % (Орлов, 1992), обязательной составной частью являются микроэлементы и вода (Кононова, 1963). Средний элементный состав органической части ГК различного происхождения приведен в табл. 1, являющийся результатом статистической обработки данных по элементному составу 650 препаратов ГК, опубликованных в более чем 400 литературных источниках (Rice, 1991).

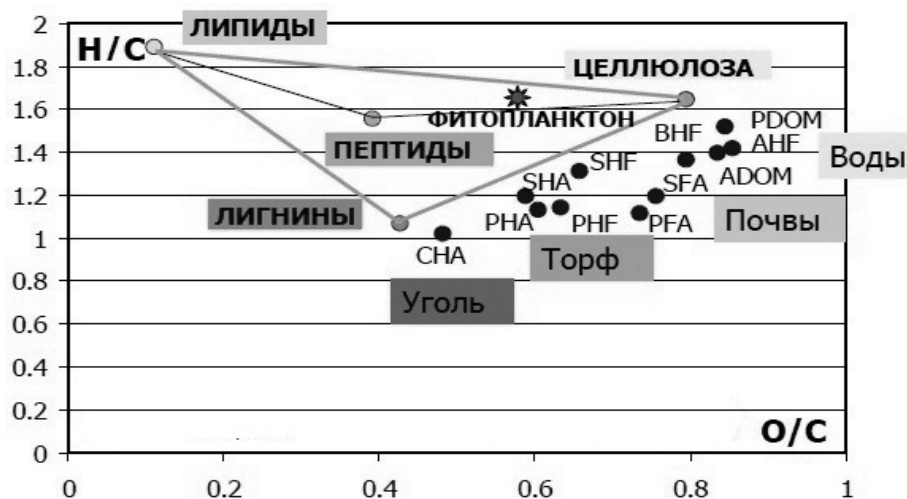


Рис. 1. Элементный состав гуминовых веществ и живого органического вещества (Перминова, 2000; Perdue, 2003)

Примечание. Для ЖВ приведены медианы значений опубликованных данных, приведенные в Perdue and Ritchie, 2003. Для ГВ приведены средние значения для классов ГВ, как описано в работе Перминовой, 2000.

Как видно из табл. 1, содержание углерода в ГК различного происхождения варьирует от 50 до 60 %, кислорода – от 30 до 40 %. Для ГК характерны более низкие значения атомного соотношения Н/С, чем для ФК, что указывает на их большую ненасыщенность. Данный показатель убывает в следующем ряду: морские донные отложения > пресные воды > торфа ≈ почвы. ФК характеризуются более низким содержанием углерода и более высоким – кислорода, что предполагает большую степень замещения ароматического каркаса ФК кислородсодержащими функциональными группами. Максимальное содержание кислорода характерно для ФК пресных вод (Коваленко, 2003).

По элементному составу можно получить только общее представление о типе строения гумусовых кислот. Например, атомные соотношения Н/С и О/С позволяют оценить такие параметры структуры, как содержание ненасыщенных фрагментов и кислородсодержащих функциональных групп. Так, при соотношении Н/С < 1 можно говорить о преобладании в структуре ГК ароматических фрагментов. Если это отношение находится в диапазоне $1,0 < \text{H/C} < 1,4$, то структура ГК носит преимущественно алифатический характер (Орлов, 1992).

Следует отметить, что наиболее узкими диапазонами стандартных отклонений (5–10 % (отн.) от среднего) характеризуются содержания С и О. Разброс значений для Н гораздо больше (10–20 % от среднего), но максимальные значения стандартных отклонений достигаются для содержаний N и S. По-видимому, это

связано с большими ошибками в определении N и S из-за их низкого содержания по сравнению с C, H и O. Нельзя исключать и того, что содержание N и S в гумусовых кислотах не подчиняется каким-либо устойчивым закономерностям, а является довольно случайным (Перминова, 2000).

Таблица 1

**Средний элементный состав гумусовых кислот различного происхождения
в расчете на беззольную навеску**

Препарат	Содержание элементов					Атомные отношения	
	C	H	O*	N	S	O/C	H/C
ГК почв (n=215)	55,4±3,8	4,8±1,0	36,0±3,7	3,6±1,3	0,8±0,1 (n=67)	0,50±0,09	1,04±0,25
ФК почв (n=127)	45,3±5,4	5,0±1,0	46,2±5,2	2,6±1,3	1,3±0,5 (n=45)	0,78±0,16	1,35±0,34
ГК торфа (n=23)	57,1±2,5	5,0±0,8	35,2±2,7	2,8±1,0 (n=21)	0,4±0,2 (n=12)	0,47±0,06	1,04±0,17
ФК торфа (n=12)	54,2±4,3	5,3±1,1	37,8±3,7	2,0±0,5	0,8±0,2 (n=11)	0,53±0,09	1,20±0,33
ГК вод (n=56)	51,2±3,0	4,7±0,6	40,4±3,8	2,6±1,6	1,1±0,3 (n=13)	0,6±0,08	1,12±0,17
ФК вод (n=63)	46,7±4,3	4,2±0,7	45,9±5,1	2,3±1,07	1,2±0,7 (n=14)	0,75±0,14	1,10±0,13

Примечание. n – число препаратов, ± – стандартное отклонение. Подавляющее число данных по содержанию кислорода получено по разности (Rice, 1991).

Варьирование опубликованных данных элементного состава вызвано тремя основными причинами: изменчивостью условий гумификации, как следствие и самих гумусовых веществ, в пространстве и времени; различиями приемов выделения гумусовых веществ из почвы; ошибками при подготовке проб к анализу и в ходе самого анализа (Орлов, 1992).

Структурно-групповой состав гуминовых кислот

К настоящему времени в гумусовых кислотах обнаружено более десяти различных типов кислород-, азот- и серосодержащих функциональных групп: карбоксильные, фенольные и спиртовые гидроксильные, карбонильные, хинонные, метоксильные, сложноэфирные, энольные, аминок-, амидо- и имидогруппы, тиольные и дисульфидные группы (Schnitzer, 1972).

Поскольку суммарное содержание серы и азота в ГФК обычно не превышает 5 %, можно с уверенностью считать, что химическое поведение гумусовых кислот определяется, в основном, кислородсодержащими функциональными группами (Stevenson, 1982).

Согласно литературным данным (Perdue, 1984), в зависимости от источника происхождения, варьирует и содержание функциональных групп в ГФК. Так, препараты водного происхождения, как правило, характеризуются повышенным содержанием карбоксильных групп (Schulten, 1993). Однако, более отчетливо прослеживается следующая тенденция: независимо от источника происхождения, ФК характеризуются более высоким содержанием карбоксильных групп, чем ГК.

Все традиционные методы функционального анализа (титриметрические, ЯМР-спектроскопия и др.) лишь ограниченно применимы для исследования ГФК. Это обусловлено низкой растворимостью ГФК в нейтральных водных средах и большинстве органических растворителей, а также протеканием побочных процессов (окисление, дегидратация и др.) (Schnitzer, 1972).

Так, титриметрические методы основаны на нейтрализации кислотных групп ГФК сильными и слабыми основаниями, позволяющие определять только кислотные

группы. Тогда как методы химической модификации делают возможным определение не только кислотных, но и не проявляющих кислотных свойств функциональных групп. Например, реакции алкилирования реагентами, вводящими метильные, триметилсилильные и другие группы, используют для определения карбоксильных групп в ГФК. А для определения гидроксильных групп используют как алкилирование, так и ацилирование, которые переводят гидроксильные группы как в простые, так и в сложные эфиры (Данченко, 1997).

В целом, методы, основанные на химической модификации, не нашли широкого применения в анализе ГФК. Однако, в последнее время они все чаще используются в сочетании с методом ЯМР-спектроскопии на различных ядрах (Leenheer, 1989).

Титриметрические методы анализа гуминовых кислот

Потенциометрическое титрование

Потенциометрическое титрование является общепринятым методом определения содержания кислотных групп (Сиггиа, 1983). Однако использование этого простого метода для анализа ГФК сопряжено со значительными трудностями:

1. Кривые титрования ГФК не содержат четких перегибов, поэтому для установления конечной точки титрования требуется их математическая обработка (Bowles, 1994).

2. Для полноты определения слабокислотных групп требуется достижение очень высоких концентраций щелочи, при которых точные измерения pH раствора затруднены (Скуг, 1979). Несмотря на указанные проблемы, данный метод широко используется для оценки кислотности ГФК.

Наиболее распространенный способ определения точки эквивалентности при анализе ГФК заключается в титровании до фиксированного значения pH (Herbert, 1993). Так, pH=7,0 считают окончанием титрования карбоксильных групп, а pH=10,3 – всех кислотных групп (Frimmel, 1985). Очевидно, что такой способ определения вклада карбоксильных групп весьма условен, ибо pH точки эквивалентности при титровании многих органических кислот лежит выше 7, а слабых фенольных гидроксидов – выше 11.

Другой способ заключается в подборе с помощью какой-либо математической модели минимального набора типов кислотных групп и их концентраций, удовлетворительно описывающих экспериментальную кривую титрования. При этом, суммарное содержание групп с более низкими значениями pK полагают равным содержанию карбоксильных групп (Perdue, 1985). При условии использования адекватной математической модели такой способ, вероятно, более объективен.

Отмечается, что результаты определения кислотных групп ГФК потенциометрическим титрованием существенно ниже данных других методов (Piccolo, 1990). Вероятно, это связано с неполной диссоциацией фенольных гидроксидов в условиях титрования. Кроме того, установлено, что количество доступных функциональных групп в структуре молекул зависит от концентрации солей гуминовых кислот в растворе (Ковтун, 2010).

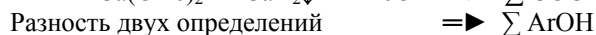
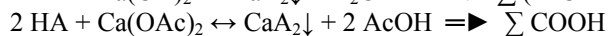
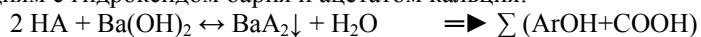
Для более полного определения кислотных групп ГФК используют потенциометрическое титрование в неводных средах (Ephraim, 1989), так как органические растворители способствуют уменьшению pK слабых кислот и дифференциации близких величин pK. В результате получают кривые титрования ГФК с более выраженными одним или даже двумя перегибами (Ephraim, 1989). В качестве растворителей используют пиридин, этилендиамин, ДМФА и ДМСО (Andres, 1987); в качестве титранта – растворы алкоголята натрия в безводном спирте или гидроксида тетрабутиламмония в изопропанол.

Помимо потенциометрического, для определения содержания кислотных групп в ГФК используются и другие виды титрования: термометрическое (Perdue, 1980), кондуктометрическое (Van Den Hoop, 1990), осадительное с цетилтриметиламмонием

(De Nobili, 1994). Однако, ввиду сложного аппаратного оформления и трудоемкости они не получили широкого распространения.

Обратное и заместительное титрование

Установлено, что гумусовые кислоты образуют со щелочноземельными металлами малорастворимые соли (Schnitzer, 1972). Данное свойство широко используется в традиционных методах определения кислотных групп в образцах ГФК по реакциям с гидроксидом бария и ацетатом кальция:



(А – кислотный остаток гумусовых кислот).

Для определения числа прореагировавших групп после осаждения гуматов в баритовом методе, избыток $\text{Ba}(\text{OH})_2$ титруется HCl , в Са-ацетатном – определяется количество уксусной кислоты, высвободившейся в результате реакции. Несмотря на образование малорастворимых соединений, обе реакции в значительной степени обратимы (Perdue, 1985) и для достижения полноты превращения необходим существенный избыток реагента. Кроме того, удаление ГФК из раствора в виде осадка гуматов бария или кальция приводит к сдвигу равновесия вправо и, следовательно, более полному определению групп по сравнению с потенциометрическим титрованием (Данченко, 1997).

Остаются не решенными основные проблемы баритового и Са-ацетатного методов: четко не определены условия количественного протекания реакций разных препаратов с обоими реагентами (Perdue, 1985); выбор количественных соотношений реагент/субстрат – в различных вариантах методик без обоснования рекомендуются различные соотношения (Gillarn, 1982); правильность определения точки эквивалентности при количественном определении избытка $\text{Ba}(\text{OH})_2$ или выделившейся уксусной кислоты (Perdue, 1980); влияние на результаты определения образования растворимых гуматов и фульватов Ва и Са (Perdue, 1980).

Таким образом, баритовый и Са-ацетатный методы являются доступными и достаточно универсальными для анализа ГФК почв и углей, тогда как определение границ и условий их применимости для анализа водных и других образцов должны составить предмет дополнительного исследования (Перминова, 2000).

Деструктивные методы анализа гуминовых кислот

Для изучения строения углеродного скелета гумусовых кислот активно используются деструктивные методы анализа (Norwood, 1988; Орлов, 1990). Благодаря применению данных методов, в широкий обиход вошли понятия «каркас» и «периферия», которые изначально использовались для обозначения негидролизующей и гидролизующей части гумусовых кислот в условиях кислотного гидролиза. На сегодняшний день в них вкладывают вполне конкретный химический смысл, понимая под каркасом ароматический углеродный скелет, а под периферией – углеводно-пептидный комплекс гумусовых кислот (Орлов, 1990). Таким образом, можно существенно повысить уровень детализации описания строения гумусовых кислот, используя данные о структурно-групповом составе вышеуказанных строительных блоков (Перминова, 2000).

Согласно Орлову, при гидролизе 6М HCl в раствор переходит 30–45 % массы ГК почв и 60–75 % ФК (Орлов, 1990). Гидролизующесть гуминовых кислот торфов и бурых углей несколько ниже. Изучение состава гидролизатов дает ясное представление об основных компонентах, образующих гидролизующую периферию гумусовых кислот, как показано в табл. 2.

Получение новой информации о составе каркасной и периферической частей гумусовых кислот с помощью деструктивных методов анализа – важнейший инструмент для более глубокого понимания принципов строения гумусовых кислот.

К сожалению, из-за трудностей соблюдения материального баланса при проведении деструкции препаратов гумусовых кислот весьма проблематичным становится численное описание строения гумусовых кислот. Именно по этой причине гораздо более перспективным представляется использование неdestructивных методов структурного анализа (Перминова, 2000).

Таблица 2

Состав гидролизуемой части ГК и ФК почв, % масс (Орлов, 1991)

Структурные фрагменты	ГК		ФК
	Чернозем	Дерново-подзолистая почва	
Аминокислоты	13	18	11
Аминосакхара	4	4	6
NH ₃	2	3	3
Вещества типа фульвокислот	14	15	–
Углеводы	66	59	80
Бензолкарбоновые кислоты	1	1	0

Методы спектроскопии ЯМР

Одним из высокоинформативных физических методов исследования является спектроскопия ядерного магнитного резонанса (ЯМР) высокого разрешения. Данный метод позволяет получить детальную информацию о строении гуминовых кислот и дает возможность охарактеризовать структурные особенности ГК исследуемой почвы.

Со середины XX века и по настоящее время ведутся многие исследования, посвященные изучению молекулярной структуры различных почв методом ¹³C-ЯМР. Полученные данные показывают, что в макромолекулах ГК в сопоставимых количествах содержатся как ароматические, так и алифатические фрагменты (Тихова, 2002). Согласно Перминовой, в гумусовых веществах могут быть определены следующие углеродсодержащие группы: карбоксильная, карбонильная, метоксильная, полиметиловая, эфирная, ацетальная и др. (Перминова, 2000).

Полидисперсность и химическая гетерогенность гумусовых кислот приводит к тому, что ¹³C ЯМР спектры этих соединений не содержат разрешенных пиков, относимых к ядрам ¹³C определенного типа, а представляют собой суперпозицию большого числа слабых сигналов.

Что интересно, интерпретация сигналов ЯМР совпадает не полностью у разных авторов. К примеру, набор максимумов и величины химического сдвига значительно варьируют (Лодыгин, 2003). Таким образом, наблюдается принципиальная нестрогость количественного анализа спектра гумусовых кислот при разбиении на диапазоны в связи с невозможностью количественного учета перекрывания групп сигналов.

На протяжении двух последних десятилетий основной областью применения спектроскопии ¹³C-ЯМР для анализа гумусовых кислот остается количественная характеристика относительного содержания углерода в составе различных структурных фрагментов молекул гумусовых кислот.

Основные проблемы ¹³C-ЯМР гумусовых кислот, согласно Перминовой, заключаются в следующем: ограниченная растворимость ГФК; перекрывание спектральных областей; различие во временах релаксации ядер углерода различных типов; большие затраты времени на получение спектра (Перминова, 2000).

Молекулярно-массовый состав гуминовых кислот

Молекулярная масса – фундаментальная характеристика любого вещества, в том числе и гумусовых кислот. ГФК являются высокомолекулярными соединениями ионогенного характера, что определяет их полиэлектролитные свойства (Орлов, 1992).

Индивидуальные органические соединения характеризуются единственным значением ММ, тогда как гумусовые кислоты обладают набором молекулярных масс из-за своей полидисперсности. Поэтому их характеризуют молекулярно-массовым распределением (ММР), на основании которого рассчитывают среднюю ММ. В зависимости от способа усреднения получают три вида молекулярных масс: среднечисловую (M_n), средневесовую (M_w) и z-среднюю (M_z) (Лачинов, 1987).

Если в монодисперсных системах все способы усреднения приводят к получению одной и той же величины молекулярной массы, то в полидисперсных системах выполняется соотношение:

$$M_z > M_w > M_n,$$

при этом отношение M_w/M_n используется как показатель полидисперсности. Для характеристики гумусовых кислот наиболее часто используют их средневесовую молекулярную массу (Орлов, 1992).

Для определения ММ гуминовых веществ используют целый ряд методов (Swift, 1989): светорассеяние, гель-проникающую хроматографию, ультрацентрифугирование, вискозиметрию и методы, основанные на измерении коллигативных свойств. Величины молекулярных масс ГФК, определяемые такими методами, лежат в широком диапазоне значений – от сотен до миллионов Дальтон и существенно зависят от метода определения.

Для каждого из способов характерны свои особенности. Так, методы, основанные на измерении коллигативных свойств полимера (осмометрия, криоскопия, эбулиоскопия), чрезвычайно чувствительны к присутствию низкомолекулярных примесей в анализируемом образце. Поэтому их применение для анализа препаратов гумусовых кислот, которые практически всегда содержат низкомолекулярные зольные компоненты, может приводить к существенному занижению молекулярной массы. Величины среднечисловой ММ, найденные этим способом (Clapp, 1989), составляют от 500 до 1000 Да.

Метод вискозиметрии также очень чувствителен к присутствию высокомолекулярных примесей, а метод светорассеяния (Wershaw, 1989) позволяет определить исключительно средневесовую ММ (M_w). Большое значение оказывает взаимодействие гумусовых кислот с мембранами при определении величины молекулярных масс методом ультрафильтрации. Наиболее полное представление о молекулярно-массовом распределении гумусовых кислот дает метод гель-проникающей хроматографии (ГПХ) (De Nobili, 1989).

Метод эксклюзионной хроматографии

Ввиду полидисперсности гумусовых кислот, оптимальным методом определения их ММ состава является эксклюзионная хроматография, позволяющая получать информацию о полной кривой молекулярно-массового распределения (ММР). Данный метод используется для анализа гумусовых кислот с 1963 г. (Познер, 1963).

Метод ГПХ позволяет определять размеры макромолекул, их молекулярные массы и некоторые структурные особенности – степень разветвленности полимеров, зависимость размеров макромолекул сополимеров от их состава и молекулярных масс, число изомеров, ассоциатов и комплексов в белковой и полимерной смеси, а также соответствующие равновесные константы изомеризации, ассоциации и комплексообразования (Беленький, 1978).

В методе ГПХ роль неподвижной фазы играет макропористый сорбент, адсорбционно-инертный по отношению к молекулам исследуемого вещества. В качестве таких сорбентов используют силикагели и сфероны, обладающие хорошо развитой пористой структурой. В качестве детекторов используют рефрактометрический, фотометрический, флуоресцентный, проточный детектор растворенного органического углерода, позволяющий определять содержание

органического углерода в образце, а также детектор по светорассеянию (Von Wandruszka, 1999).

В связи с тем, что ГПХ представляет собой не абсолютный, а относительный метод определения молекулярных масс, колонку калибруют по веществам с известными молекулярными массами. В качестве образцов сравнения для гумусовых кислот используют белки, полидекстраны, полиэтиленгликоли и полистиролсульфонаты. Молекулярные массы гуминовых веществ, выделенных из различных источников, отличаются по своим значениям (Perminova, 2003). Данные приведены в табл. 3.

Таблица 3

Молекулярные массы, полученные для гуминовых веществ различного происхождения

Образцы	Диапазон M_w , кДа
водные ФК	0.3–17
водные ГК и ГФК	1–30
угольные ГК	4–5
торфяные ГК	4–22
дернисто-подзолистые ФК	1–5
дернисто-подзолистые ГК	100–700
почвенные	100–200

Очевидно, что ММ закономерно изменяется для гуминовых веществ различного происхождения. Как видно из табл. 3, наибольшие значения ММ характерны для почвенных ГВ. Тогда как для угольных, водных и торфяных ГВ значения меньше на несколько порядков.

Неэксклюзионные эффекты в гель-проникающей хроматографии гумусовых кислот

Определение молекулярных масс гумусовых кислот методом ГПХ сопряжено с появлением артефактов, обусловленных взаимодействием аналита с гелем:

1. Сверхэксклюзия, которая объясняется тем, что гидрофильные декстрановые и полиметакрилатные гели содержат остаточные количества карбоксильных групп, ионизация которых приводит к образованию отрицательного заряда на частицах геля. Вследствие этого полианион гумусовых кислот исключается из пор по законам значительно более сильной ионной эксклюзии. Для его устранения гель-хроматографический анализ полиэлектролитов обычно проводят в среде низкомолекулярного электролита (фоновый электролит NaCl или KCl). Величина указанного эффекта зависит от свойств геля и анализируемых гумусовых кислот (Перминова, 2000).

2. Специфической адсорбции, которая возникает в результате образования гидрофобных или водородных связей между аналитом и матрицей геля. Как следствие, объем элюирования аналита существенно возрастает и может превысить общий объем колонки. Это приводит к занижению определяемого значения ММ.

Для подавления специфической адсорбции к элюенту добавляют гидрофобный органический растворитель или используют элюэнты, подавляющие этот эффект (например, тетраборат натрия с добавлением 0,001M $Na_4P_2O_7$ (Town, 1992), 1 M 2-амино-2-гидроксиметил-1,3-пропандиола хлорид (TRIS) (Piccolo, 1987), 10мМ ацетат натрия (Reugaviuoi, 1997)).

3. Влиянием pH пробы, вводимой в колонку, а именно уменьшением объема эксклюзии с возрастанием pH. Этот эффект объясняется изменением состояния молекул гумусовых кислот (в частности, их ассоциацией в кислых условиях), а также влиянием ионной силы (Sochtig, 1972).

Кроме того, важной задачей является подбор адекватных стандартных образцов для калибровки колонки из-за полиэлектролитных свойств и стохастического характера гумусовых кислот. Наиболее распространенными калибровочными веществами являются полистиролсульфонаты (ПСС), полидекстраны (ПД) и белки. Становится очевидным, что определяемая величина ММ непосредственно зависит от плотности удельного заряда полимеров, используемых в качестве калибровочных веществ. Таким образом, с точки зрения Перминовой, колебания величин ММ гумусовых кислот, приводимых в литературе, определяются во многом условиями проведения гель-хроматографического анализа (Перминова, 2000).

Характеристика гуминовых веществ различных стадий гумификации. Влияние микроорганизмов

Все ГВ образуются в результате посмертного превращения органических остатков, то есть, в процессе гумификации. Данный процесс идет вне живых организмов, как с их участием, так и путем чисто химических реакций окисления, восстановления, гидролиза, конденсации и др. (Тейт, 1991).

В отличие от живой клетки, в которой синтез биополимеров осуществляется в соответствии с генетическим кодом, в процессе гумификации нет какой-либо установленной программы, поэтому могут возникать любые случайные соединения, как более простые, так и более сложные, чем исходные биомолекулы. Образующиеся продукты вновь подвергаются реакциям синтеза или разложения, и такой процесс идет практически беспрерывно. В результате многочисленных реакций в природных телах накапливаются только наиболее устойчивые соединения, существующие более длительное время, чем лабильные вещества. Иногда говорят, что у них среднее время пребывания в почве выше (Орлов, 1997). Это иллюстрируется графиком (рис. 2), согласно которому в растительных остатках преобладают сравнительно легкоразлагаемые соединения, но по мере развития гумификации в ряду растительные остатки – дерново-подзолистые почвы – серые лесные почвы – черноземы доля лабильных веществ непрерывно снижается, а доля устойчивых – возрастает. Если этот ряд продлить до углей, то в них явно преобладают устойчивые компоненты. По этой причине ГВ считают первой устойчивой формой органических соединений углерода вне живых организмов (Горовая, 1995).

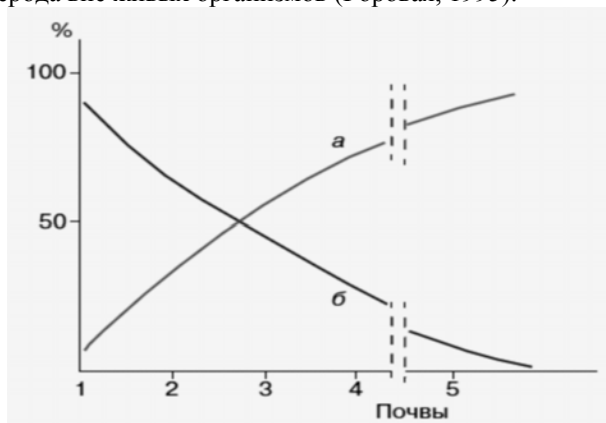


Рис. 2. Относительная устойчивость органических соединений в природных телах:
а – содержание относительно устойчивых компонентов, б – содержание лабильных элементов;
1 – растительные остатки, 2 – дерново-подзолистые почвы, 3 – серые лесные почвы,
4 – черноземы, 5 – бурые угли (Орлов, 1997)

Поскольку гумусовые вещества биотермодинамически более устойчивы, чем органические соединения попадающих в почву растительных остатков, то гумусообразование можно рассматривать как преимущественно такой процесс, в ходе

которого происходит своеобразный естественный отбор, когда относительно непрочные, лабильные вещества органических остатков и продуктов их трансформации быстро минерализуются, разлагаются или усваиваются организмами, пребывая в почвах лишь короткий промежуток времени. Многообразная и непрерывная цепь всех этих превращений задерживается на том звене, которое представлено наиболее устойчивыми соединениями. С точки зрения Гришиной (1986), такими соединениями являются гуминовые кислоты и, видимо, компоненты гумина.

Изложенный общий принцип определяет важнейшую сторону процесса гумификации – его направленность. Это означает, что биотермодинамически процесс гумификации всегда проходит в сторону отбора устойчивых продуктов трансформации независимо от факторов почвообразования и типа почвы. Поэтому гумификация – процесс глобальный, а гуминовые вещества всех почв и других природных сфер имеют общий принцип строения (Орлов, 1996).

Оптимальными условиями образования ГК в почвах являются (Ганжара, 1993): нейтральная, или близкая к нейтральной, реакция среды; умеренная биологическая активность в течение длительного периода; насыщенность среды кальцием, магнием и азотом; невысокие концентрации пептизаторов.

Накопление ГВ в биокосных телах ограничено как скоростью образования этих веществ, так и условиями их закрепления минеральной частью. С точки зрения Дюшефура (Дюшефур, 1970), в процессе гумификации можно выделить две фазы. В течение относительно короткой первой фазы – биологической – под действием микроорганизмов происходит образование «молодых» ГВ, непрочных связанных с минеральной частью почвы. Во время более длительной второй фазы гумификации – климатической – в результате влияния сезонных климатических условий происходит «созревание» и стабилизация ГВ, а также увеличение числа связей ГВ с минеральной частью.

Гумификация протекает медленно, поэтому на любом этапе изучения ГВ исследователи имеют дело не только с конечным продуктом, но и с рядом промежуточных продуктов разложения растительного материала и ГВ. Следует отметить, что при изучении процессов гумификации четко прослеживаются два разных направления:

1. Экологическое – с этой точки зрения процесс гумификации является связующим звеном между совокупностью живых организмов (биоценозом) и той абиотической средой, которая стала материальной основой жизни и средой обитания. Основы экологического направления гумификации были заложены в конце XIX столетия Мюллером, который различал два основных типа гумуса: мулль и мор, но позднее, для обозначения промежуточного типа, Раманном был введен термин «модер». При формировании грубого гумуса мор образуется, когда в трансформации поступающего в почву органического материала принимают участие преимущественно грибы и комплекс микроорганизмов; средний гумус – модер образуется при участии грибов, микроорганизмов и микроскопических беспозвоночных; и, наконец, формирование тонкого гумуса – мулль – связано не только с грибами, микроорганизмами, микроскопическими беспозвоночными, но и с мезофауной (рис. 3), особенно если она представлена дождевыми червями (Попов, 1996).

2. Биологическое – с этой точки зрения протекание процесса гумификации происходит при непосредственном влиянии живых организмов или их ферментов в почве. Так, углеводы используются сапротрофной биотой главным образом в качестве источника энергии, и после окисления они пополняют содержание диоксида углерода в атмосфере. Белки обычно разрушаются до аминокислот, реже – до аммония, воды и диоксида углерода. Лигнин в виде разнообразных промежуточных продуктов его деградации – поли-, олиго- или мономерных звеньев – участвует в процессах гумификации, в частности при формировании ароматических частей молекул ГВ. Также было показано, что лигнин встречается среди продуктов

разложения растительных остатков, дающих бурую окраску в щелочном растворе и осаждаемых кислотой. В растительном материале – основном (по массе) источнике образования ГВ – на долю лигнина приходится 10–30 % (Александрова, 1980).

Попытки раскрыть биохимические механизмы синтеза ГВ были сделаны многими исследователями. К примеру, Шнитцер в одной из своих работ (Schnitzer, 1978) приводит обобщающую классификацию ГВ Фелбека, которая позволяет выделить четыре основных гипотезы образования ГВ:



Рис. 3. Участие биоты в трансформации органического материала (Попов, 2004)

1) Гипотеза образования ГВ в результате трансформации растительного материала – с этой точки зрения допускается, что некоторые составляющие растительных тканей, такие как лигнифицированные компоненты, относительно устойчивые к действию экзоферментов микроорганизмов и грибов, накапливаются в биокосных телах, изменяясь только внешне, и в совокупности представляют собой их органическую часть. Подчеркивается, что состав и свойства ГВ определяются природой исходного растительного материала. В течение первой стадии гумификации образуются высокомолекулярные ГК и гумины. Затем они трансформируются в ФК и далее разрушаются до углекислого газа (Дьяконова, 1962).

2) Гипотеза химической полимеризации ГВ из низкомолекулярных органических соединений – согласно с этой точкой зрения растительный материал сначала под воздействием микроорганизмов преобразуется в фенолы и аминокислоты, а затем низкомолекулярные органические соединения окисляются и полимеризируются в ГК. Таким образом, состав исходного растительного материала не влияет на природу ГВ. Согласно точке зрения М. М. Кононовой, любые растительные вещества путем сложных превращений могут участвовать в формировании ГВ. Вместе с тем, биополимеры, включая и лигнин, в большей или меньшей степени могут быть разложены микроорганизмами и грибами до конечных

продуктов минерализации. Специфической реакцией гумификации является конденсация (поликонденсация) ароматических соединений фенольного типа с аминокислотами и протеинами (Кононова, 1976).

3) Гипотеза клеточного автолиза – с этой точки зрения ГВ представляют собой продукт саморастворения растительных клеток и тел микроорганизмов после их отмирания под влиянием ферментов, содержащихся в клетках этих же организмов. Продукты разрушения этих клеток (сахара, аминокислоты и некоторые ароматические соединения – фенолы и хиноны) конденсируются и полимеризуются посредством свободных радикалов (Лукошко, 1962).

4) Гипотеза биосинтеза ГВ – предполагается, что в клетках микроорганизмов, при использовании ими растительных тканей в качестве источников углерода и энергии, синтезируется высокомолекулярный материал подобный ГВ – меланин, который после отмирания микроорганизмов поступает в биокосные тела. Меланины, так же как лигнины и другие растительные полифенолы, играют важную роль в образовании ГВ. Они синтезируются микроскопическими грибами из фенолов, хинонов, полиенов, производных аминокислот и аминсахаров. Так же как и ГК, меланины относительно устойчивы к микробному разложению (Schnitzer, 1978). Эти гуминоподобные вещества синтезируются культурами различных бактерий и грибов, которых С. Н. Виноградский (1952) назвал зимогенными.

С точки зрения А. И. Попова, данная гипотеза отражает наиболее вероятный путь образования и функционирования ГВ в почвах. В качестве подтверждения можно привести тот факт, что независимо от объекта выделения, свойства ГВ в целом сходны. Одинаковый продукт во всех климатических зонах в различных экосистемах и в разное геологическое время может быть синтезирован только биохимически. Существующие различия между ГВ, выделенными из разнообразных объектов, связаны с вторичным влиянием внешней среды (Попов, 2004).

Согласно современному пониманию гумификации В. Зихманом (Ziechmann, 1988), наиболее важными реакциями при образовании ГВ являются (рис. 4): разложение углеводов и других природных неароматических продуктов, а также синтез ароматических веществ, подобных фенолам, и продуктов разложения лигнинов и других ароматических соединений (продуктов). Начальная фаза гумификации – преобразование органического материала в устойчивые ГВ – определяется деятельностью почвенной биоты.

После разложения органических остатков (рис. 4, 1.1) происходит образование предшественников и истинных ГВ (рис. 4, 1.2). Формирование темноокрашенных продуктов (рис. 4, 3) на этой стадии процесса гумификации может также объясняться протеканием реакции Майяра. На второй стадии (рис. 4, 2) исходным материалом являются кислоты ароматического ряда, фенолы и другие низкомолекулярные соединения. Помимо рассмотренных механизмов, образование ГВ может происходить и искусственным путем – в результате химического синтеза в реакциях Майяра и гидролитического распада (Попов, 2004).

Таким образом, скорость и характер гумификации органических остатков зависят от трех групп факторов (Гришина, 1990): количества и качественного состава остатков биоты (в особенности растений); интенсивности деятельности и видового разнообразия сапротрофной биоты; режимов влажности и аэрации, кислотности и направленности окислительно-восстановительных процессов.

Следовательно, гумификация – сложный и многостадийный биофизико-химический процесс преобразования отмерших остатков и экскретов живых организмов в кинетически устойчивые природные органические соединения – ГВ, который происходит при обязательном участии сапротрофной биоты (Попов, 2004).

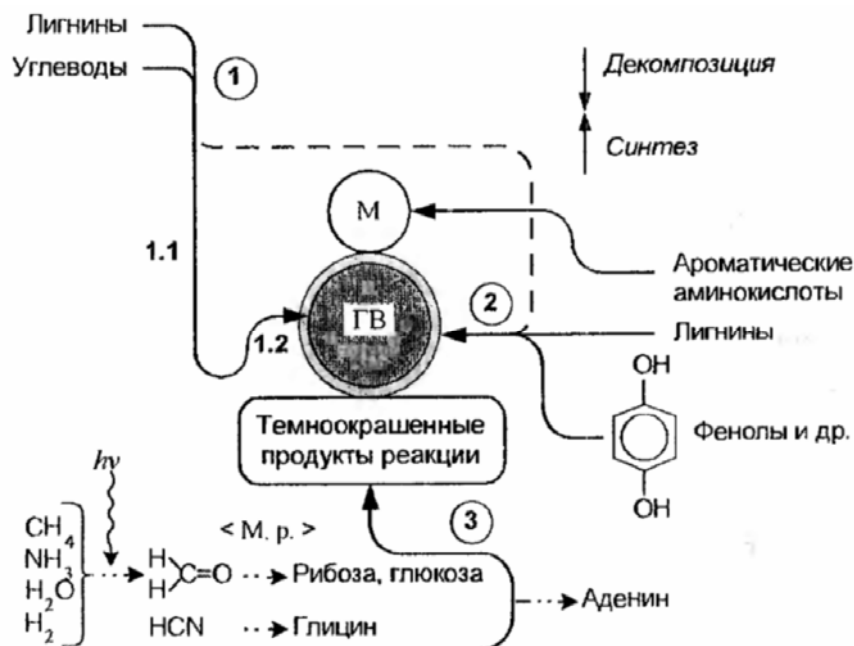


Рис. 4. Упрощенная схема образования гуминовых веществ по Зихману (Ziehm, 1988):
М – меланины, ГВ – гуминовые вещества, М.р. – реакция Майяра

Свойства и применение гуминовых веществ. Органические удобрения на основе ГВ

В силу сложности строения, гумусовые кислоты, как наиболее реакционно-способные компоненты ГВ, могут вступать в уникально широкий спектр всевозможных взаимодействий. Наличие таких групп как карбоксильная, гидроксильная, карбонильная, в сочетании с присутствием ароматических структур, обеспечивает способность гумусовых кислот образовывать водородные, ионные и донорно-акцепторные связи, активно участвовать в сорбционных процессах. К примеру, гумусовые кислоты хорошо связывают воду, способны к ионному обмену, образуют комплексы с металлами и взаимодействуют с различными классами органических соединений (Перминова, 2004).

Такие уникальные свойства ГВ определяют их широкое использование во многих областях промышленности и сельского хозяйства. Так, способность ГВ связывать ионы металлов и органические соединения позволяет использовать их в качестве лигандов при производстве микроудобрений и кормовых добавок, содержащих микроэлементы; а также детоксицирующих агентов на загрязненных территориях (Sanjay, 1997). Наряду со связывающей активностью, ГВ обладают выраженными поверхностно-активными свойствами, что позволяет использовать их как агенты, увеличивающие растворимость гидрофобных органических веществ, включая нефтепродукты. Это позволяет использовать препараты ГВ для удаления ароматических углеводородов нефти из загрязненных водоносных горизонтов (Lesage, 2001). Наконец, биологическая активность ГВ определяет возможность их использования в качестве стимуляторов роста растений и компонентов микроудобрений.

Большую популярность в последнее время приобретает использование гуматных органических удобрений во многом благодаря тому, что действие гуминовых препаратов не ограничивается влиянием на обмен веществ растений. Так, при регулярном использовании препаратов ГВ в высоких дозах улучшается

структура почвы, ее буферные и ионообменные свойства и, кроме того, активизируется деятельность почвенных микроорганизмов (Перминова, 2004).

В основном, в сельском хозяйстве гуминовые препараты применяют в физиологически активной форме легкорастворимых солей гуминовых кислот со щелочными металлами, которые, действуя на клеточном уровне, повышают активность ферментов, изменяют проницаемость клеточных мембран, стимулируя процессы дыхания, синтеза белков и углеводов у растений. Таким образом, применение данных препаратов позволяет растениям успешно справляться с последствиями заморозков и засухи, повысить устойчивость к различным заболеваниям и снизить химический стресс от обработки пестицидами. Как следствие, это приводит к повышению урожайности сельскохозяйственных культур, особенно в неблагоприятных климатических условиях.

Препараты ГВ стимулируют развитие корневой системы, регулируют корневое и внекорневое питание, а также улучшают проникновение питательных веществ и микроэлементов из почвенного раствора в растение. За счет этого повышается коэффициент использования минеральных удобрений, что позволяет экономить средства, сократив дозы азотных удобрений на 30–50 %. Подкормка растений препаратами ГВ в период вегетации позволяет значительно ускорить процесс фотосинтеза, обеспечить интенсивное развитие листовой поверхности и корневой системы, увеличить закладку большего числа репродуктивных органов. При этом увеличивается содержание крахмала, клейковины, масла и сахаров, что приводит к улучшению качества урожая.

Органические удобрения на основе ГВ получают при переработке леонардита, сапропелей, торфов и некоторых других органических субстратов. Особую популярность приобретают микроудобрения на основе ГВ, представляющие собой гуматы натрия и/или калия с добавкой необходимых микроэлементов. Примерами могут служить гуматные удобрения компании «Valagro» (Италия) – AU 15 %, Fulvic 100, Humic 80; «Стимул-S» украинской компании «Добрин»; гумат «Сахалинский» производства компании «Биомир» (Россия), гидрогумат К и Na ЧП «НПФ «Добробут» и многих других.

К примеру, микроудобрения AU 15 % («Valagro», Италия) представляют собой жидкий экстракт гуминовых кислот, полученных из месторождений леонардита в штате Южная Дакота (США). Леонардит – это конечный продукт процесса гумификации, отличие которого от других источников гуминовых кислот состоит в том, что он проявляет сравнительно более высокую биологическую активность – примерно в пять раз выше, чем у других источников ГВ. Доля сухих гумифицированных веществ в AU 15 % составляет 96 % от общего сухого органического вещества.

Органические удобрения Fulvic 100 («Valagro», Италия) представляют собой экстракт фульвокислот из леонардита. Доля сухого органического вещества составляет 72,5 %, причем 32 % из них приходится на фульвокислоты.

Органическое удобрение Humic 80 («Valagro», Италия) – это твердый экстракт гуминовых кислот из леонардита. Внесение таких гуматных удобрений способствует обновлению физико-химических свойств почвы благодаря улучшению ее структуры и плодородия, стимулирует процессы детоксикации почв от тяжелых металлов. Доля сухого органического вещества в удобрении составляет 63,2 %, 76 % из них приходится на гумифицированные вещества.

Гумат «Сахалинский» производства компании «Биомир» (Россия) – высокоэффективное органоминеральное удобрение широкого спектра действия. Производится на острове Сахалин из леонардита Солнцевского месторождения. Удобрение на 85–90 % состоит из действующего вещества (гуминовых кислот и подобных соединений) и на 10–15 % – из соединений, гумифицирующихся после внесения в почву. Благодаря такому высокому содержанию основного вещества

повышаются адаптационные возможности растений – их устойчивость к болезням и неблагоприятным погодно-климатическим условиям.

Удобрение «Стимул-S» – органоминеральное гуминовое удобрение на основе озерного сапропеля производства украинской компании «Добрин». Внесение удобрения в почву способствует усилению роста растений, адаптации к неблагоприятным факторам внешней среды, уменьшению норм внесения минеральных удобрений, в итоге – к повышению качества сельскохозяйственной продукции.

Гидрогумат К/Na ЧП «НПФ «Добробут» – водный раствор солей калия или натрия, гуминовой и фульвокислот. Содержание сухого вещества – 110–120 г/л; содержание солей гуминовой и фульвокислот – 85–90 г/л.

Таким образом, гуматные удобрения могут являться компонентами технологий выращивания сельскохозяйственных культур и способствовать увеличению их урожая и его качества. Следует обратить внимание на особенности применения ГВ во внекорневых обработках посевов. Помимо ростостимулирующих свойств, хелатирования ряда элементов питания, их применение понижает зольный индекс растворов для опрыскивания путем возрастания части углерода в солевых растворах и предотвращает повреждение растений высокими концентрациями солей.

Еще в 70-х годах XX века, как в нашей стране, так и за рубежом были проведены первые научные исследования, показавшие высокую эффективность удобрений на основе ГВ. Создание и использование удобрений и систем питания на основе гуминовых препаратов является безопасным с точки зрения охраны окружающей среды. Они нередко именуются «технологиями будущего» (Мотовилова, 1994; Богословский, 2004).

Функции ГВ в агроэкосистемах

ГВ выполняют множество важных функций, среди которых:

1. Концентрирующая (аккумулятивная) функция, которая заключается в накоплении необходимых живым организмам химических макро- и микроэлементов. Кроме того, ГВ, в отличие от легкорастворимых минеральных удобрений, отдают живым организмам необходимые им элементы питания постепенно, по мере их потребления, сохраняя тем самым необходимый пул этих элементов. ГВ также связывают тяжелые металлы, радионуклиды, пестициды, нефтепродукты и ряд токсичных органических соединений. Они переводят эти вещества в малорастворимую форму, снижают их миграционную способность, токсичность и угнетающее действие, ограничивают поступление в растения и накопление в тканях.

2. Транспортная функция, заключающаяся в формировании геохимических потоков минеральных и органических веществ, преимущественно в водных средах, за счет образования устойчивых, но сравнительно легкорастворимых комплексных соединений гумусовых кислот с катионами металлов.

3. Регуляторная функция ГВ объединяет множество различных явлений и процессов, происходящих в почвах, водах и других природных средах. В первую очередь, это формирование почвенной структуры и физико-химических свойств почв; регулирование реакций ионного обмена между твердыми и жидкими фазами; а также регулирование условий питания живых организмов путем изменения растворимости минеральных компонентов.

4. Влияние ГВ и препаратов на их основе на стимулирование прорастания семян, повышение устойчивости организмов к различного рода стрессовым факторам и другие физиологические эффекты ГВ представляют интерес в разработке экологически безопасных технологий выращивания сельскохозяйственных культур.

Таким образом, применение гуминовых удобрений может быть важным компонентом технологий выращивания культур в растениеводстве и решения задач восстановления почвенного плодородия, увеличения скорости биохимических

реакций в системе биота↔почва↔растение, перехода дополнительного количества элементов питания в доступную растениям форму.

Необходимо отметить, что при обилии предложений гуминовых удобрений на рынке страны многочисленными компаниями, практически отсутствуют данные по сравнительному анализу эффективности удобрений из леонардита, торфа, сапропелей. Также ограничены сведения об эффективности гуминовых и фульвокислот в системах питания растений, дозах применения и их влиянии на восстановление плодородия почв. Подавляющее большинство информации по данным вопросам является скорее рекламой, чем результатами научных испытаний.

На сегодняшний момент производство удобрений на основе гуминовых соединений активно осваивается во многих ведущих аграрных странах. Они уже производятся в Украине, Германии, США, Италии, Австралии, Китае и многих других странах. Их использование активно расширяется, особенно в связи со стремлением сформировать сельское хозяйство экологически безопасным, эффективным и экономичным.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Александрова Л. Н.** Органическое вещество почвы и процессы его трансформации / Л. Н. Александрова. – Л. : Наука, 1980. – 288 с.
- Беленький Б. Г.** Хроматография полимеров / Б. Г. Беленький, Л. З. Виленчик. – М. : Химия, 1978. – 343 с.
- Бирюкова О. Н.** Период биологической активности почв и его связь с групповым составом гумуса / О. Н. Бирюкова, Д. С. Орлов // Биологические науки. – 1978. – № 4. – С. 115-116.
- Богословский В. Н.** Агротехнологии будущего / В. Н. Богословский, Б. В. Левинский, В. Г. Сычев. – Изд. РИФ «Антиква», 2004. – С. 26-27.
- Виноградский С. Н.** Микробиология почвы. Проблемы и методы. Пятьдесят лет исследований / С. Н. Виноградский. – М. : АН СССР, 1952. – 792 с.
- Ганжара Н. Ф.** Концептуальная модель гумусообразования / Н. Ф. Ганжара // Почвоведение. – 1997. – № 9. – С. 1075-1080.
- Глибоководні органо-мінеральні осади** Чорного моря як перспективна сировина для виготовлення нових комплексних добрив / Є. Ф. Шнюков, В. В. Моргун, В. О. Ємельянов, В. В. Швартау, Т. С. Куковська, Л. М. Михальська // Геологія і корисні копалини. – 2011. – № 1 (23). – С. 20-32.
- Горовая Л. И.** Гуминовые вещества / Л. И. Горовая, Д. С. Орлов, О. В. Щербенко. – К. : Наук. думка, 1995. – 304 с.
- Гришина Л. А.** Гумусообразование и гумусное состояние почв / Л. А. Гришина – М. : Изд-во МГУ, 1986. – 243 с.
- Гришина Л. А.** Трансформация органического вещества почвы / Л. А. Гришина, Г. Н. Копчик, М. И. Макаров. – М. : МГУ, 1990. – 88 с.
- Гумат «Сахалинский» компании «Биомир» (Россия)** [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.humate-sakhalin.ru/Go/PageView/id=24&m_p_id=12. – Название с экрана.
- Данченко Н. Н.** Функциональный состав гумусовых кислот: определение и взаимосвязь с реакционной способностью. : автореф. дисс. на соиск. уч. ст. канд. хим. наук : 02.00.02 / МГУ. – Москва, 1997. – 22 с.
- Дюшофур. Ф.** Основы почвоведения. Эволюция почв (опыт изучения динамики почвообразования) / Ф. Дюшофур: перевод с франц. М. И. Герасимовой. – М. : Прогресс, 1970. – 617 с.
- Дьяконова К. В.** Железогумусовые компоненты и их роль в питании растений / К. В. Дьяконова // Почвоведение. – 1976. – № 7. – С. 23-25.
- Кононова М. М.** Органическое вещество почвы / М. М. Кононова. – М. : Изд-во МГУ, 1963. – 314 с.
- Лукошко Е. С.** Механизм образования гуминовых веществ в процессе торфообразования / Е. С. Лукошко, В. Е. Раковский // Химия и генезис торфа и сапропелей. – Минск, 1962. – С. 44-49.

Моргун В. В. Физиологические основы формирования высокой продуктивности зерновых злаков / В. В. Моргун, В. В. Шварцау, Д. А. Киризий // Физиология и биохимия культурных растений. – 2010. – № 5. – С. 371-392.

Мотовилова Л. В. Гуматы экологически чистые стимуляторы роста и развития растений / Л. В. Мотовилова, О. Н. Берман, О. В. Скворцов // Химия в сельском хозяйстве. – 1994. – № 5. – С. 12-13.

О подразделении Farm компании «Valagro» (Италия) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.valagro.com/ru/corporate>. – Название с экрана.

Орлов Д. С. Гуминовые вещества в биосфере / Д. С. Орлов // Соросовский образовательный журнал. – 1997. – № 2. – С. 56-63.

Орлов Д. С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации / Д. С. Орлов. – М. : Изд-во МГУ, 1990. – 325 с.

Орлов Д. С. Органическое вещество почв Российской Федерации / Д. С. Орлов, О. Н. Бирюкова, Н. И. Суханова. – М. : Наука, 1996. – 254 с.

Орлов Д. С. Свойства и функции гуминовых веществ / Д. С. Орлов // Гуминовые вещества в биосфере. – М. : Наука, 1993. – С. 16-27.

Орлов Д. С. Химия почв / Д. С. Орлов. – М. : Изд-во МГУ, 1992. – 259 с.

Перминова И. В. Анализ, классификация и прогноз свойств гумусовых кислот: дисс. на соиск. уч. ст. док. хим. наук : 02.00.02 : защищена 20.12.00 / И. В. Перминова. – М., 2000. – 360 с.

Перминова И. В. Гуминовые вещества в контексте зеленой химии / И. В. Перминова, Д. М. Жилин; ред. В. В. Лунин. – М. : Изд-во Моск. Ун-та, 2004. – С. 146-162.

Попов А. И. Биогеоценотическая роль органического вещества почв / А. И. Попов, О. Г. Чертов // Вести С.-Петерб. ун-та. – 1996. – № 2. – С. 88-92.

Попов А. И. Гуминовые вещества: свойства, строение, образование / А. И. Попов; ред. Е. И. Ермаков. – СПб. : Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2004. – 248 с.

Сиггиа С. Количественный органический анализ по функциональным группам / С. Сиггиа, Д. Г. Ханна. – М. : Химия, 1983. – С. 132-135.

Скуг Д. Основы аналитической химии / Д. Скуг, Д. Уэст. – М. : Мир, 1979. – С. 425-432.

Тейт Р. Органическое вещество почвы / Р. Тейт. – М. : Мир, 1991. – 400 с.

Эффективность гумата «Стимул-S» компании «Добрин» (Украина) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.dobrin.com.ua/>. – Название с экрана.

Andres J. M., Romero C., Gavilan J. M. Potentiometric Titration of Fulvic Acids in Dimethylformamide and Dimethylsulfoxide // Talanta. – 1987. – № 6. – P. 583-585.

Bowles E. C., Antweiler R. C., MacCarthy P. Acid-base titration and hydrolysis of fulvic acid from the Suwannee river. In: Humic substances in the Suwannee river, GA: Interactions, properties, and proposed structures (eds. R. C. Averett et al.) // U.S. Geological survey water-supply paper. – 1994. – Pp. 209-229.

De Nobili M., Contin M. Humic substances in the global environment and implications on human health. (eds. N. Senesi et al.) – Elsevier, 1994. – P. 263-264.

Ephraim J. H., Boren H., Arsenie I., Pettersson C., Allard B. A combination of acid-base titrations and derivatization for functional group determinations of an aquatic fulvic acid // Sci. Total. Environ. – 1989. – Vol. 82. – P. 615-624.

Frimmel F. H., Hopp W., Quentin K. E. Titration isolierter aquatischer Huminstoffe und ihrer Calcium-Komplexe mit starken Basen und Säuren // Z. Wasser-Abwasser-Forsch. – 1985. – Vol. 18. – С. 259-262.

Haider K., Martin J. P. Synthesis and transformation of phenolic compounds by *Epicoccum nigrum* in relation to humic acid formation // Soil Sci. Soc. Am. J. – 1967. – Vol. 31. – P. 1233-1239.

Herbert B. E., Borsch M., Novak J. M. Pyrene sorption by water-soluble organic carbon // Environ. Sci. Technol. – 1993. – Vol. 27. – P. 398-403.

Leenheer J. A., Noyes T. I. Derivatization of humic substances for structural studies. In: Humic Substances II: In Search of Structure (Ed. by M.H. Hayes, P. MacCarthy, R.L. Malcolm, R.S. Swift). – N.Y., 1989. – P. 257-280.

Lesage S., Novakowski K., Brown S., Millar K. Humic acids enhanced removal of aromatic hydrocarbons from contaminated aquifers: developing a sustainable technology // J. Environ. Sci. Health. – 2001. – № 36. – P. 1515-1533.

Norwood D. L. Humic substances and their role in the environment (eds F. H. Frimmel). – Chichester, 1988. – P. 133-148.

Perdue E. M. Analytical constraints on the structural features of humic substances // Geochim. Cosmochim. Acta. – 1984. – Vol. 48. – P. 1435-1442.

- Perdue E. M.** Acidic Functional Groups of Humic Substances. In: Humic substances in soil, sediment and water (eds. G. R. Aiken et al.). – N.Y., 1985. – P. 493-525.
- Perminova I.V., Frimmel F., Kudryavtsev A., Kulikova N., Abbt-Braun G., Hesse S., Petrosyan V.S.** Molecular weight characteristics of humic substances from different environments as determined by size exclusion chromatography and their statistical evaluation. // Environ. Sci. Technol. – 2003. – Vol. 37. – P. 2477-2485.
- Peuravuori J., Pihlaja K.** Molecular size distribution and spectroscopic properties of aquatic humic substances // Anal. Chim. Acta. – 1997. – Vol. 337. – P. 133-149.
- Piccolo A., Mirabella A.** Molecular weight distribution of peat humic substances extracted with different inorganic and organic solution // The Science of the Total Environment. – 1987. – Vol. 62. – P. 39-46.
- Posner A.** Importance of electrolyte in the determination of molecular weights by Sephadex gel filtration, with especial reference to humic acid. // Nature. – 1963. – Vol. 196. – P. 1161-1163.
- Rice J. A., McCarthy P.** Statistical evaluation of the elemental composition of humic substances // Org. Geochem. – 1991. – Vol. 17, №.5. – P. 635-648.
- Sanjay H. G., Srivastava K. C., Walia D. S.** Mixed Waste Remediation Using HUMASORB-CSTM – an Adsorbent to Remove Organic and Inorganic Contaminants. - ARCTECH, Inc., 1997. – P. 233-245.
- Schnitzer M., Khan S. U.** Humic substances in the environment. – N.Y., 1972. – P. 12-17.
- Schnitzer M.** Some observation on the chemistry of humic substances // Agrochemica. – 1978. – Vol. 22. – P. 216-225.
- Schulten H. R., Schnitzer M.** A state of the art structural concept for humic substances // Naturwissenschaften. – 1993. – Vol. 80. – P. 29-30.
- Sochtig H.** Humic substances. Their structure and function in biosphere. (eds. D. Povoledo et al.). – Wageningen, 1972. – P. 321-335.
- Stevenson F. J.** Humus chemistry. Genesis, composition, reactions. – N.Y., 1982. – P. 221-237.
- Swift R. S.** Humic Substances. II. In Search of Structure (eds M. Hayes et al.). – Chichester, 1989. – P. 449-451.
- Town R., Powell K.** Elimination of adsorption effects in gel permeation chromatography of humic substances // Anal. Chim. Acta. – 1992. – Vol. 256. – P. 81.
- Van Den Hoop M., Van Leeuwen H. P.** Stripping voltammetry of heavy-metal-(bio)polyelectrolite complexes // Anal. Chim. Acta. – 1993. – 232. – P. 141-148.
- Von Wandruszka R., Schimpf M., Hill M., Engebretson R.** Characterization of humic acid size fractions by SEC and MALS // Organic Geochemistry. – 1999. – Vol.30. – P. 229-235.
- Wershaw R. L.** Humic substances in soil, sediment and water. (eds. G. R. Aiken et al.). – N.Y., 1985. – P. 417-418.
- Ziechman W.** Evolution of structural models from consideration of physical and chemical properties. Humic Substances and Their Role in the Environment (eds. F. H. Frimmel et al.). – N.Y., 1988. – P. 113-132.

Рекомендує до друку
В. В. Моргун

Надійшла до редколегії 11.05.12

ВАЖКІ МЕТАЛИ В ҐРУНТАХ ЗЕЛЕНИХ ЗОН МІСТА МЕЛІТОПОЛЯ (ЗАПОРІЗЬКА ОБЛАСТЬ, УКРАЇНА)

¹Мелітопольський державний педагогічний університет ім. Б. Хмельницького

²Інститут екології Карпат НАН України

Визначено вміст Cu, Zn, Pb, Cd, Mn, Fe, Co у ґрунтах зелених зон м. Мелітополя (Запорізька обл., Україна). Абсолютні концентрації хімічних елементів не перевищують кларкових значень, за винятком Cd, який у гумусовому горизонті накопичується до значень у 2 рази вищих за кларкові. Розподіл елементів у ґрунтового профілі свідчить про існування геохімічних бар'єрів у верхній та в середній частині ґрунтового розрізу, де в гумусовому та ілювіальному горизонтах існують умови для накопичення досліджених елементів.

Ключові слова: ґрунти, степова зона, важкі метали.

К. Л. Дядькова¹, В. И. Козловский²

¹Мелитопольский государственный педагогический университет им. Б. Хмельницкого

²Институт экологии Карпат НАН Украины

ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В ПОЧВАХ ЗЕЛЕННЫХ ЗОН ГОРОДА МЕЛИТОПОЛЯ (ЗАПОРОЖСКАЯ ОБЛАСТЬ, УКРАИНА)

Определено содержание Cu, Zn, Pb, Cd, Mn, Fe, Co в почвах зеленых зон г. Мелитополя (Запорожская обл., Украина). Абсолютные концентрации химических элементов не превышают кларковых значений, за исключением Cd, который в гумусовом горизонте накапливается до значений в 2 раза выше кларковых. Распределение элементов в почвенном профиле свидетельствует о наличии геохимических барьеров в верхней и средней части почвенного разреза, где в гумусовом и иллювиальном горизонтах существуют условия для накопления исследованных элементов.

Ключевые слова: почвы, степная зона, тяжелые металлы.

K. L. Dyadkova¹, V. I. Kozlovsky²

¹Bohdan Khmelnytsky State Pedagogical University of Melitopol

²Institute of Ecology of the Carpathians of NAS of Ukraine

HEAVY METALS IN SOILS OF GREEN AREAS OF MELITOPOL CITY (ZAPORIZHZHYA REGION, UKRAINE)

The content of Cu, Zn, Pb, Cd, Mn, Fe, Co in soils of green areas of Melitopol city (Zaporizhzhya region, Ukraine) is determined. Absolute concentrations of chemical elements do not exceed klark values, except for Cd, which accumulates in the humus horizon to values 2 times higher than percent abundance of elements. The distribution of elements in the soil profile shows the existence of geochemical barriers in the upper (A soil horizon) and middle (B soil horizon) part of the soil profile.

Key words: soils, steppe zone, heavy metals.

Антропогенна складова у геохімічному колообігу хімічних елементів уже починаючи з 60-х років ХХ століття стає важливим чинником, який поряд із природними процесами формує геохімічний фон біосфери (Добродеев, 1978). Особливо це очевидно для міських територій, де кількість хімічних елементів у викидах стаціонарних джерел та автомобільного транспорту часто перевищує відповідні надходження природного походження (Перельман, 1989; Nriagu, 1989; Bilos, 2001; Coby, 2006). Значна частина викидів, досягши ґрунту, залишається там багато років навіть після припинення дії джерела викиду (Imperato, 2003). Незважаючи на те, що міські ґрунти не використовуються безпосередньо у сільськогосподарському виробництві, вони також можуть впливати на здоров'я мешканців міста через вторинне забруднення атмосфери пилом, піднятим із поверхні

грунту (Rasmussen, 2001) або ґрунтових вод у випадку їх потрапляння в криниці, водогони, наземні водні екосистеми (ставки, озера, річки) внаслідок поверхневого або внутрішньогрунтового стоку (Linde, 2005). Окрім вивчення стану забруднення міських ґрунтів важкими металами у зв'язку з можливим впливом на здоров'я населення доцільним є вивчення процесів трансформації хімічних елементів у природних міських ґрунтах, де збереглися морфологічні ознаки ґрунтового профілю, характерні для цієї природної зони в порівнянні із зональними природними ґрунтами фонових територій. У такому разі виникає можливість довгострокового прогнозу забруднення ґрунтів і його наслідків у разі зростання техногенного впливу або поширення його у просторі.

Метою роботи було оцінити рівні та особливості нагромадження важких металів у природних ґрунтах паркових і лісових насаджень м. Мелітополя та приміських територій.

ОБ'ЄКТИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єкти досліджень – природні ґрунти паркових зон міста Мелітополь (парк ім. Горького, Садстанція, Лісопарк) та приміських територій (Старобердянське лісництво).

Місто Мелітополь розташоване в межах Причорноморської низовини на правому березі річки Молочна. Схили долини ріки асиметричні. Правий берег – стрімкий, високий, лівий – пологий, терасований. На лівобережжі добре помітні три надзаплавні тераси: перша (заплавна) висотою від 3–4 до 10–12 м, друга (середня) – 8–12 м і шириною від 100 м до 2 км, третя (верхня) тераса суцільною смугою тягнеться лівим берегом річкової долини, сягаючи ширини 3 км і більше. Старобердянське лісництво розташоване за 18 км на північний схід від Мелітополя між селами Новопилипівка і Вознесенка на лівому березі річки Молочна. Отже, всі досліджені ґрунтові розрізи, які розташовані в межах міста знаходяться на правому березі, а ґрунтові профілі зі Старобердянського лісництва – на лівому.

Відібрані за генетичними горизонтами зразки висушували за кімнатної температури після чого просіювали через сито. Аналітичній обробці піддавали дрібнозем (фракція < 1,0 мм). Актуальну кислотність (рН) визначали потенціометрично у водній витяжці, використовуючи співвідношення ґрунт:розчин 1:2,5, гумус – за Тюрніним із спектрофотометричним завершенням (Никитин, 1972). Підготовку ґрунтових зразків до аналізу на валовий вміст важких металів здійснювали обробкою попередньо прожареної за 450 °С проби ґрунту сумішшю HCl:HNO₃ (3:1) (Методические..., 1981). Метали визначали атомно-абсорбційним методом на спектрофотометрі C115M1 у пропан-бутановому полум'ї з використанням дейтерієвого коректора неселективної абсорбції. Визначення проводили у трьох повторностях. Відносна похибка за Р=95 % не перевищувала 7 %.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Відповідно до агрохімічного районування України територія дослідження знаходиться в причорноморській провінції сухостепової зони темно-каштанових і каштанових ґрунтів (Атлас..., 1979). У формуванні ґрунтового покриву м. Мелітополя та приміських територій, окрім природних умов степової зони важливу роль відіграє р. Молочна, завдяки якій тут сформувалися характерні для заплавних територій типи ґрунтів різного механічного складу – від супісків до важких суглинків. Крім цього, важливим фактором процесів ґрунотворення території дослідження є тривалий вплив лісових насаджень (Белова, 1999).

Диференціація хімічних елементів у ґрунтах степової зони визначається пануванням окислювальної нейтральної і лужної геохімічної обстановки, ослабленим або відсутнім промивним режимом ґрунтового профілю і збільшенням ролі концентрації елементів на випарювальному бар'єрі. Як наслідок, відбувається зниження інтенсивності водної міграції більшості катіоногенних елементів, слабо рухомих у нейтральному та лужному середовищах, що поряд із високим вмістом органічної речовини, створює умови для концентрування хімічних елементів,

насамперед, у верхніх горизонтах ґрунтового розрізу. У степовій зоні важливим чинником формування ґрунтового профілю є лесиваж, в результаті якого відбувається переміщення з верхніх у нижні горизонти мулистих фракцій, збагачених органічною речовиною та залізом, що разом із наявністю карбонатних горизонтів є передумовою для формування геохімічного бар'єру всередині ґрунтового профілю.

Отже, характер розподілу мікро- та макроелементів у ґрунтах досліджених угруповань визначається механічним складом, вмістом органічної речовини, окисно-відновними умовами, кислотністю, лесиважем і водним режимом. Дія цих чинників створює умови для геохімічної диференціації елементів у ґрунтовому профілі, про що свідчать коефіцієнти радіальної диференціації (Крд), розраховані на основі отриманих даних (таблиця).

**Вміст хімічних елементів у ґрунтах зелених зон м. Мелітополя (Запорізька обл.),
жовтень 2010 р.**

Ґрунтовий горизонт та його потужність, см		рН (H2O)	Втрати після спалювання, %	С орг., %	Zn	Cd	Fe	Mn	Pb	Cu	Co
					мкг/г						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Парк ім. Горького, насадження акації, ґрунт лучний супіщаний											
1,5–0,5	H0L	–	83,4	–	18,7	0,02	212,5	148,9	3,7	2,2	0,7
0,5–0	H0F	–	38,9	–	22,5	0,14	483,6	104,7	20,2	1,3	1,7
0–20	H	7,60	3,6	0,85	4,3	0,11	225,2	45,3	4,1	0,3	1,6
20–30	Hpk	7,70	3,9	0,70	4,6	0,04	303,8	38,8	3,7	0,5	1,5
30–50		7,77	4,5	0,69	6,4	0,03	408,6	46,6	3,5	0,5	1,6
50–60		7,80	4,1	0,62	6,4	0,03	445,2	43,1	3,5	0,6	1,9
60–80		7,85	3,9	0,58	5,0	0,03	340,5	36,7	3,3	0,6	1,6
80–90	Phk	7,97	3,7	0,49	4,1	0,03	261,9	31,1	2,9	0,3	1,1
Садстанція, насадження каркаса західного, ґрунт дерновий супіщаний											
2–0,5	H0L	–	75,1	–	20,4	0,13	142,6	162,8	1,8	2,1	0,1
0,5–0	H0F	–	42,5	–	34,2	0,17	372,4	124,6	6,4	3,4	1,1
0–15	H	7,41	10,8	4,15	16,0	0,10	356,2	105,7	7,3	2,3	1,3
15–25	Hpe	7,23	1,9	0,52	3,7	0,03	209,5	30,2	3,1	0,3	1,0
25–55	Phe	6,95	1,1	0,14	1,8	0,03	209,5	17,3	1,8	0,1	0,6
55–70	Phi	6,64	1,5	0,29	2,8	0,03	251,4	23,7	1,8	0,1	0,6
70–	P(h)	6,55	1,8	0,39	2,3	0,03	235,7	24,6	1,4	0,1	0,6
Лісопарк, насадження акації, ґрунт дерновий лесивований супіщаний											
1–0,5	H0L	–	86,9	–	26,9	0,15	87,2	68,5	2,5	1,6	0,6
0,5–0	H0F	–	36,4	–	47,8	0,22	444,6	97,0	9,3	3,3	1,1
0–10	H	6,62	5,8	1,48	8,7	0,07	330,0	42,3	2,9	0,9	1,6
10–27	E(L)	6,27	1,2	0,31	2,8	0,01	330,0	25,9	1,4	0,4	1,0
27–80	Ih	6,46	1,6	0,39	2,8	0,01	277,6	23,7	3,9	0,4	1,0
80–95	Pi	6,51	0,9	0,18	2,7	0,01	330,0	17,3	2,4	0,2	0,8
95–	P	6,60	0,9	0,17	2,8	0,01	261,9	15,1	2,2	0,1	0,8
Старобердянське лісництво											
Квартал 60, дубняк, ґрунт темно-каштановий суглинковий											
2–0,5	H0L	–	87,6	–	20,7	0,07	191,0	271,0	1,5	2,0	0,6
0,5–0	H0F	–	51,3	–	26,7	0,22	629,7	289,9	4,9	2,1	2,8
0–1	He	6,60	21,4	5,62	19,2	0,11	890,5	211,4	6,9	2,5	4,0
1–10			14,2	3,25	11,5	0,03	471,4	116,5	6,9	1,1	3,2
10–20			7,9	1,48	8,7	0,03	654,8	86,3	5,3	0,7	3,0
20–35	Hpi	6,55	6,6	1,14	10,1	0,06	1021,4	82,0	4,3	1,0	2,8
35–60		6,37	5,8	0,83	5,0	0,03	523,8	60,4	3,5	0,5	1,9
60–70	Phi	6,56	5,2	0,64	6,9	0,03	775,2	53,9	4,7	0,7	2,1
90–	P(h)k	7,40	4,6	0,47	5,5	0,03	576,2	45,3	2,4	0,3	1,9
Квартал 10, дубняк, ґрунт лучно-чорноземний поверхнево оглеєний важкосуглинковий											
2–0,5	H0L	–	94,0	–	35,4	0,02	31,9	99,0	1,4	2,4	0,1
0,5–0	H0F	–	83,1	–	47,3	0,19	342,4	189,1	4,0	3,8	0,6

Закінчення таблиці

1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0–2	H(gl)	6,98	11,3	2,61	10,5	0,08	560,5	120,8	6,3	1,6	3,7
2–20		7,12	10,0	1,76	8,7	0,04	665,2	107,8	6,3	1,2	3,3
20–40	Hp	7,46	11,0	1,78	13,3	0,06	1047,6	118,6	6,1	1,3	3,5
40–50		8,12	9,6	1,32	13,8	0,06	1257,1	88,4	6,9	1,1	3,3
50–75	Phk	8,10	7,7	0,69	11,0	0,04	1204,8	92,7	6,9	1,8	3,2
90–95		8,10	6,8	0,59	8,2	0,04	550,0	73,3	5,9	1,1	2,6
Квартал 18, сосняк, грунт темно-каштановий супіщаний											
2–0,5	H0L	–	97,1	–	9,6	0,02	52,9	76,6	1,4	1,5	0,1
0,5–0	H0F	–	77,5	–	17,4	0,16	257,2	97,2	3,3	1,9	1,1
0–2	Hed	6,46	9,5	3,69	7,2	0,06	471,4	64,7	3,3	1,0	1,6
2–22	H(i)	7,11	2,6	0,84	3,2	0,03	288,1	32,4	2,0	0,3	1,2
22–42	Hpi	7,18	2,6	0,39	5,5	0,04	628,6	34,5	2,9	0,7	1,4
42–90	Phi	7,38	2,3	0,26	4,3	0,04	550,0	30,2	2,9	0,5	1,0
90–	P(h)	7,43	1,9	0,16	3,7	0,04	392,9	23,7	2,9	0,3	1,1
Кларк у грунтах (Виноградов, 1962)					50	0,05	38000	850	10	20	8

У верхній, переважно незначній за потужністю, але з високим вмістом органічної речовини частині гумусового горизонту, в порівнянні з материнською породою, накопичуються усі досліджувані елементи (Zn Крд = 1,3–6,9; Cu Крд = 1,5–23; Cd Крд = 1,5–3,7; Pb Крд = 1,1–5,2; Mn Крд = 1,7–4,7; Co Крд = 1,4–2,2; Fe Крд = 1,0–1,5). З глибиною, разом зі зменшенням вмісту органіки, знижується й інтенсивність накопичення хімічних елементів (Zn Крд = 0,9–3,1; Cu Крд = 1,0–9,0; Cd Крд = 0,8–7,0; Pb Крд = 0,7–2,9; Mn Крд = 1,2–2,8; Co Крд = 1,1–1,7; Fe Крд = 0,7–1,3). В цілому, коефіцієнти радіальної диференціації в гумусовому горизонті, особливо у його верхній частині – достатньо високі. Беручи до уваги концентрації елементів у підстилці, можна припустити, що високі Крд мають, перш за все, біогенне походження. В середній частині ґрунтового профілю, через наявність карбонатів та внаслідок процесів лесиважу, формується геохімічний бар'єр в іллювіальному горизонті (Zn Крд = 1,0–1,6; Cu Крд = 1,0–2,3; Cd Крд = 1,0–1,5; Pb Крд = 1,0–1,7; Mn Крд = 1,0–1,5; Co Крд = 1,0–1,7; Fe Крд = 1,1–2,1).

Абсолютні концентрації досліджуваних хімічних елементів не перевищують кларкових значень, за винятком Cd, який у гумусовому горизонті накопичується до значень у 2 рази вищих за кларкові. Однак, варто відзначити, що на сьогодні кларк Cd для ґрунтів потребує уточнення (Алексеев, 2000).

ВИСНОВКИ

1. Абсолютні концентрації досліджуваних хімічних елементів, за винятком Cd, не перевищують кларкових значень.
2. Розподіл досліджених елементів у ґрунтових розрізах відбувається відповідно до розподілу в профілі продуктів ґрунтоутворення; у підстилці та в гумусовому горизонті основним чинником накопичення елементів є органічна речовина, а в іллювіальному горизонті – карбонати та мулісті частинки, які разом з сорбованими на них металами внаслідок лесиважу збагачують середню частину ґрунтового профілю.
3. Суттєвої різниці у рівнях накопичення досліджених хімічних елементів у ґрунтах міської і приміської зони не виявлено, що свідчить про відсутність значного забруднення ґрунтів зелених зон м. Мелітополя Cu, Zn, Pb, Cd, Mn, Fe, Co.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Алексеев В. А. Экологическая геохимия / В. А. Алексеев. – М. : Логос, 2000. – 627 с.
- Атлас почв Украинской ССР / Под ред. Н. К. Крупного, Н. И. Полупана. – К. : Урожай, 1979. – С. 119–136.
- Белова Н. А. Естественные леса и степные почвы / Н. А. Белова, А. П. Травлев. – Д. : Изд-во ДГУ, 1999. – 343 с.

- Виноградов А. П.** Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры / А. П. Виноградов // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555-572.
- Добродеев О. П.** Техногенез – мощная геохимическая сила биосферы / О. П. Добродеев // Природа. – 1978. – № 11. – С. 87-92.
- Методические рекомендации** по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. – М. : Гидрометеоздат, 1981. – 70 с.
- Никитин Б. А.** Определение содержания гумуса в почве / Б. А. Никитин // Агрохимия. – 1972. – Т. 3. – С. 123-125.
- Перельман А. И.** Геохимия / А. И. Перельман. – М. : Высш. шк., 1989. – С. 338-370.
- Nriagu, J. O.** A global assessment of natural sources of atmospheric trace metals // Nature. – 1989. – № 338. – P. 47-49.
- Bilos C., Colombo J. C., Skorupka C. N., Presa M. J. P.** Source, distribution and variability of airborne trace metals in La Plata City area, Argentina // Environmental Pollution. – 2001. – № 111. – P. 149-158.
- Coby S. C. Wong, Xiangdong Li, Iain Thornton.** Urban environmental geochemistry of trace metals // Environmental Pollution. – 2006. – № 142. – P. 1-16.
- Imperato M., Adamo P., Naimo D., Arienzo M., Stanzione D., Violante P.** Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples city (Italy) // Environmental Pollution. – 2003. – № 124. – P. 247-256.
- Linde M.** Trace Metals in Urban Soils – Stockholm as a Case Study. Doctoral thesis. – ISSN:1652-6880, ISBN: 91-576-6910-4, 2005. – 100 p.
- Pichtel J., Sawyer H. T. and Czarnowska K.** Spatial and temporal distribution of metals in soils in Warsaw, Poland // Environmental Pollution. – 1997. – № 98. – P. 169-174.
- Rasmussen P. E., Subramanian S. K., Jessiman B. J.** A multi-element profile of housedust in relation to exterior dust and soils in the city of Ottawa, Canada // The Science of the Total Environment. – 2001. – № 267. – P. 125-140.

Рекомендує до друку
І. А. Мальцева

Надійшла до редколегії 16.03.12

БІОЛОГІЯ ҐРУНТІВ

УДК 631.46.631.445.41:631.84

І. М. Малиновська¹, Ю. І. Літвін²

МІКРОБНІ УГРУПОВАННЯ СІРОГО ЛІСОВОГО ҐРУНТУ, ЗАБРУДНЕНОГО ЗРОСТАЮЧИМИ ДОЗАМИ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

¹Національний науковий центр «Інститут землеробства НААН»

²Національний авіаційний університет

Досліджували стан мікробних угруповань сірого лісового ґрунту, забрудненого важкими металами у дозі 5, 10, 100 ГДК, за наявності і відсутності вегетуючого фітоценозу. Встановлено, що індикаційними показниками на середньострокове забруднення ґрунту важкими металами є чисельність денітрифікаторів, автохтонних мікроорганізмів, чисельність та фізіолого-біохімічна активність азотобактера і полісахаридсинтезуювальних бактерій, індекс педотрофності, коефіцієнт мінералізації азоту та фітотоксичність ґрунту. Показані масштаби і спрямованість змін мікробіологічних процесів залежно від рівня забруднення ґрунту важкими металами і наявності рослинного покриву.

Ключові слова: мікробіоценоз, сірий лісовий ґрунт, важкі метали, денітрифікатори, автохтонні, полісахаридсинтезуювальні мікроорганізми, азотобактер, мінералізація, фітотоксичність.

И. М. Малиновская¹, Ю. И. Литвин²

¹Национальный научный центр «Институт земледелия НААН»

²Национальный авиационный университет

МИКРОБНЫЕ СООБЩЕСТВА СЕРОЙ ЛЕСНОЙ ПОЧВЫ, ЗАГРЯЗНЕННОЙ ВОЗРАСТАЮЩИМИ ДОЗАМИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ

Исследовали состояние микробных сообществ серой лесной почвы, загрязненной тяжелыми металлами в дозе 5, 10, 100 ПДК, при наличии и отсутствии вегетирующего фитоценоза. Установлено, что индикаторными показателями на среднесрочное загрязнение почвы тяжелыми металлами являются численность денитрификаторов и автохтонных микроорганизмов, численность и физиолого-биохимическая активность азотобактера и полисахаридсинтезирующих бактерий, индекс педотрофности, коэффициент минерализации азота и фитотоксичность почвы. Показаны масштабы и направленность изменений микробиологических процессов в зависимости от уровня загрязнения почвы тяжелыми металлами и наличия растительного покрова.

Ключевые слова: микробиоценоз, серая лесная почва, тяжелые металлы, денитрификаторы, автохтонные, полисахаридсинтезирующие микроорганизмы, азотобактер, минерализация, фитотоксичность.

I. M. Malinovskaya¹, Y. I. Litvin²

¹National Scientific Center «Agryculture Institute of NAAS»

²National Aviation University

MICROBAL COMMUNITY OF GREY FOREST SOIL, POLLUTED BY INCREASING DOSES OF HEAVY METALS

The condition of microbial communities of grey forest soil polluted by heavy metals at a dose of 5, 10, 100 MPC at the presence and absence of vegetative phytocenosis has been examined. It is determined that indicator indices of medium-term pollution of soil by heavy metals are number of denitrifiers and autochthonous microorganisms, quantity and physiological and biochemical activity of azotobacter and polysaccharide synthesizing bacteria, nitrogen mineralization coefficient

and phytotoxicity of soil. The scale and orientation of microbiological process changes subject to the soil heavy metal pollution level and vegetable cover availability are indicated.

Key words: microbiocenosis, grey forest soil, heavy metals, denitrifiers, autochthonous, polysaccharide synthesizing microorganisms, azotobacter, mineralization, phytotoxicity.

Важкі метали відносяться до числа широко розповсюджених забруднювачів біосфери (Андреюк, 2001; Водяницький, 2005). На сьогоднішній день за ступенем небезпеки вони займають друге місце після пестицидів і значно випереджають такі широко відомі забруднювачі як двоокис вуглецю й сірки. Забруднення оточуючого середовища важкими металами обумовлено їх широким використанням у промисловому виробництві та недоліками у системах очищення, в результаті чого політанти потрапляють в навколишнє середовище разом з газопиловими викидами промислових підприємств, автотранспорту, домішками добрив, пестицидів тощо (Водяницький, 2005).

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Моделльний дослід був проведений з використанням сірого лісового крупнопилувато-легкосуглинкового ґрунту моніторингового полігону відділу адаптивних інтенсивних технологій зернових колосових культур та кукурудзи ННЦ «Інститут землеробства НААН» (дослідне господарство «Чабани», Києво-Святошинський район Київської області). У 0–20 см шарі ґрунту міститься: гумусу 2,74 %, лужногідролізованого азоту 9,33 мг, рухомого фосфору 36,8 мг та обмінного калію 15,3 мг на 100 г сухого ґрунту, $pH_{(KCl)}$ – 5,6. Фітоценоз ділянок перелогу сформувався у результаті спонтанного заростання протягом 23 років і представлений, в основному, злаковими травами. Ґрунт відбирали восени і перед проведенням дослідів, його біологічну активність відновлювали шляхом зволоження та термостатування за 25 °С протягом 21 доби. Досліджували варіанти із штучно створеними фонами цинку і свинцю: 3,4 – перевищення ГДК у 5 разів; 5,6 – перевищення ГДК у 10 разів; 7,8 – перевищення ГДК у 100 разів. В якості контрольного зразка виступав ґрунт із природною концентрацією важких металів. При створенні фонів забруднення зважали на кислоторозчинну фракцію металів, оскільки саме вона вважається основною техногенною складовою у запасі важких металів у ґрунті.

За 8 діб до внесення важких металів у частину судин висівали насіння кукурудзи. У контрольні судини для вирівнювання вмісту азоту вносили розчин KNO_3 у відповідній концентрації.

Стан мікробних угруповань вивчали через 32 доби після внесення важких металів. Чисельність і фізіолого-біохімічну активність мікроорганізмів основних еколого-трофічних груп, спрямованість мікробіологічних процесів визначали методами, описаними раніше в наших публікаціях (Малиновська, 2011).

Статистичний аналіз результатів проводили з використанням сучасного комп'ютерного програмного пакету *Microsoft Office*.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Як видно з даних табл. 1, чисельність амоніфікувальних мікроорганізмів в результаті забруднення важкими металами зростає порівняно з контролем у ґрунті без рослин у 2,09–2,19 рази, у ґрунті з фітоценозом – на 26,4–31,4 %. Чисельність амоніфікувальних мікроорганізмів зростає за найменшої з досліджених доз важких металів і у подальшому не залежить від дози політанта. За короткотривалого забруднення (1 доба) внесення важких металів призводило до істотного зменшення чисельності амоніфікувальних мікроорганізмів як у варіантах без рослин, так і з фітоценозом. Отже, механізм впливу важких металів на чисельність амоніфікувальних мікроорганізмів змінюється з часом перебування ґрунту у забрудненому стані.

Чисельність автохтонних мікроорганізмів за короткотривалого забруднення ґрунту важкими металами теж істотно зменшувалася. За 32-добового інкубування ця закономірність збереглася, за виключенням варіанту із дозою важких металів 5 ГДК без фітоценозу, де відбувається підвищення чисельності автохтонних мікроорганізмів порівняно із незабрудненим ґрунтом (табл. 1). У ґрунті без рослин чисельність автохтонних мікроорганізмів зменшується прямо пропорційно рівню забруднення, а у ризосфері фітоценозу зменшується порівняно з контролем на 19,4–65,2 % і майже не залежить від рівня забруднення. Отже, механізми дії важких металів на мікроорганізми різних еколого-трофічних і функціональних груп розрізняються, а відносно деяких з них – змінюються з часом.

Рослини з їх корневими виділеннями виступають у ролі протекторів щодо азотобактера, його чисельність у ризосфері рослин перевищує показники ґрунту без рослин: в контролі у 5,97 рази, за 5 ГДК – 9070, за 10 ГДК – у 14,9 рази (табл. 1). За максимального рівня забруднення важкими металами (100 ГДК) чисельність азотобактера у ґрунті без рослин перевищує його чисельність у ризосфері рослин. Можливо, за високих рівнів забруднення ґрунту важкими металами рослини не можуть виконувати протекторну функцію щодо азотобактера через біохімічний стрес. Про протекторну функцію рослин щодо азотобактера свідчать також результати вивчення фізіолого-біохімічної активності цих мікроорганізмів. Так, ВФК азотобактера у ризосфері рослин перевищує аналогічний показник ґрунту без рослин: у контролі у 2,94 рази, за 5 ГДК – у 195 рази, за 10 ГДК показники мають однакову величину, за максимального забруднення ґрунту важкими металами фізіолого-біохімічна активність азотобактера, також як і його чисельність, є максимальними у ґрунті без рослин (табл. 2). На нашу думку, азотобактер відноситься до важливої групи мікроорганізмів, які є індикаторами екологічної чистоти ґрунту, його чисельність зменшується при внесенні деяких поллютантів, зокрема нафтопродуктів (Малиновська, 2010, 2011). Підтвердженням цьому припущенню є отримані експериментальні дані щодо зміни фізіолого-біохімічної активності азотобактера у забрудненому ґрунті (табл. 2). Так, ВФК (вірогідність формування колоній) азотобактера у незабрудненому ґрунті перевищує показники варіантів із забрудненням 5 і 10 ГДК – у 72 рази, 100 ГДК – у 2,18 рази (без фітоценозу), у варіантах з фітоценозом відповідні показники склали 1,09, 212 і 15,8 рази (табл. 2). Отже, забруднення ґрунту важкими металами пригнічує фізіолого-біохімічну активність азотобактера і цей показник можна вважати індикаційним на забруднення сірого лісового ґрунту при рівнях забруднення 5–100 ГДК за відсутності рослинного покриву, при рівнях забруднення 10–100 ГДК – на ґрунтах із фітоценозом.

За короткострокового забруднення ґрунту важкими металами чисельність денітрифікаторів у ґрунті без рослин зменшується прямо пропорційно збільшенню дози забруднення. За 32-добового забруднення чисельність денітрифікаторів у ґрунті без рослин також зменшується пропорційно рівню забруднення: за 5 ГДК – у 5,47 рази, за 10 ГДК – 7,32, за 100 ГДК – у 16,9 рази. У присутності рослин чисельність денітрифікаторів знижується до певної величини, на яку майже не впливає доза поллютанту. Отже, групу денітрифікаторів можна вважати діагностичною на забруднення важкими металами при коротко- та середньострокових термінах забруднення на ґрунтах без вегетуючого фітоценозу.

Чисельність кислотоутворювальних мікроорганізмів є набагато більшою у ризосфері рослин порівняно з ґрунтом без фітоценозу, за виключенням максимальної дози важких металів, де спостерігається зворотна тенденція: чисельність і фізіолого-біохімічна активність кислотоутворювальних мікроорганізмів зменшуються саме у ризосфері рослин (табл. 1). Максимальне підвищення чисельності кислотоутворювальних мікроорганізмів у ризосфері рослин спостерігається за 10 ГДК – у 23,3 рази, за цього ж рівня забруднення спостерігали і максимальне підвищення їх фізіолого-біохімічної активності – у 25 разів. Оскільки органічні і мінеральні кислоти є важливими чинниками розчинності мінеральних елементів з важкодоступних форм, то можна вважати вказаний факт доказом з боку рослин інтенсифікації мікробіологічного розчинення мінеральних сполук у власній ризосфері. Рослини цілеспрямовано

підвищують чисельність мікроорганізмів, які здатні переводити у доступний їм стан необхідні їм мінеральні елементи. Забруднення ґрунту важкими металами за невідомої поки причини підсилює цей процес.

Чисельність мобілізаторів мінеральних фосфатів за відсутності забруднення важкими металами і за мінімальної дози важких металів в ризосфері рослин знижується, а за високих рівнів забруднення, навпаки, збільшується і, особливо, у варіанті 10 ГДК. Мобілізатори мінеральних фосфатів діють на важкорозчинні фосфати завдяки виділенню органічних і мінеральних кислот, а також високомолекулярних полісахаридів. Тому виникає протиріччя з даними щодо чисельності кислотоутворювальних мікроорганізмів. Можливо рослини кукурудзи мають такий склад корневих виділень, який забезпечує мобілізацію важкодоступних фосфатів поза мікробіологічної мобілізації.

Чисельність і фізіолого-біохімічна активність полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів у ґрунті, забрудненому важкими металами, є важливим індикаторним показником, оскільки бактеріальні полісахариди є неспецифічними протекторами щодо токсичної дії важких металів (Dudman, 1977). За короткочасного забруднення синтез полісахаридів ще не стає перевагою продуцентів у конкурентній боротьбі за виживання, тому чисельність полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів знижується як у ґрунті без рослин, так і у ризосфері фітоценозу. За 32-добового інкубування забрудненого ґрунту чисельність полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів зростає, особливо у ризосфері рослин, за 5 ГДК – в 2,24 рази, за 10 ГДК – 6,89, за 100 ГДК – в 1,67 рази (табл. 1). Максимальна чисельність полісахаридсинтезувальних мікроорганізмів спостерігається у варіанті забруднення 10 ГДК, подальше збільшення дози забруднення не призводить до зростання чисельності мікроорганізмів вказаної групи, можливо, через загальний токсичний вплив важких металів. Отже, підтверджені результати модельних досліджень (Dudman, 1977) щодо захисної дії бактеріальних полісахаридів відносно важких металів в умовах сірого лісового ґрунту.

Згідно літературних даних, важкі метали пригнічують мінералізацію органічних сполук у ґрунті (El-Shinnawi, 1976; Landa, 1978). Отримані нами результати узгоджуються з літературними даними: у ґрунті без рослин індекс педотрофності зменшується за 5 ГДК на 76,6 %, за 10 ГДК – 43,2, за 100 ГДК – на 133,6 %, у ризосфері фітоценозу витрачання органічної речовини суттєво знижується лише за максимального забруднення (табл. 3). Інтенсивність мінералізації сполук азоту зменшується у ґрунті без рослин за 5 ГДК у 3,20 рази, за 10 ГДК – 2,27, за 100 ГДК – у 1,57 рази, у ризосфері рослин, особливо за середнього і максимального рівня забруднення, мінералізація сполук азоту інтенсифікується на 73,4 %. Таким чином, спрямованість мінералізаційних процесів у забрудненому важкими металами ґрунті залежить від рівня забруднення і наявності рослинного покриву.

На прикладі рослин пшениці і сої раніше було показано, що активність мінералізації гумусових сполук у ризосфері рослин є нижчою, ніж у ґрунті без фітоценозу (Малиновська, 2007а, 2007б). Отримані дані підтверджують цю закономірність: активність мінералізації гумусу у кореневій зоні рослин кукурудзи нижча за таку ґрунту без рослин: без забруднення на 66,2 %, за 5 ГДК – 90,2, за 10 ГДК – 77,0, за 100 ГДК – на 18,4 % (табл. 3). Отже, у ґрунті без рослин, де відсутній постійний приток речовин, що легко утилізуються, у складі корневих виділень, деградація гумусових сполук протікає інтенсивніше. Із підвищенням рівня забруднення ґрунту важкими металами рослини все менше впливають на процес мінералізації гумусових сполук.

Забруднення важкими металами призвело до суттєвого збільшення фітотоксичності ґрунту без фітоценозу за 5 ГДК на 8,40 %, за 10 ГДК – на 16,2 %, у ґрунті з фітоценозом збільшення фітотоксичності спостерігалось лише за 10 ГДК – на 15,7 % (табл. 3). Доза важких металів у 100 ГДК виявилася токсичною настільки, що насіння тест-рослин не проросло.

Таким чином, за середньотривалого забруднення сірого лісового ґрунту важкими металами спостерігаються істотні зміни стану мікробного угруповання,

Таблиця 1

Вплив важких металів на чисельність мікроорганізмів у сірому лісовому ґрунті, забрудненому важкими металами протягом 32 діб, млн. КУО*/г абсолютно сухого ґрунту

№, з/п	Варіант	Амоніфікатори	Імобілізатори мінерального азоту	Оліготрофіли	Азотобактер, % обростання грудочок ґрунту	Денітрифікатори	Нітрифікатори	Педотрофи	Целюлозоруйнівні бактерії	Полісахаридсинтезуючі	Автохтонні	Стрептоміцети	Мікроміцети	Мобілізатори мінеральних фосфатів	K _p	Кислототворювальні
1	Контроль без рослин	240,6	93,9	75,3	0,670	128,1	0,248	83,8	153,3	5,82	21,9	44,2	0,023	23,3	0,611	0,390
2	Контроль + фітоценоз	730,9	68,7	21,4	4,00	121,8	0,484	117,4	65,0	5,54	18,5	28,8	0,173	10,0	0,313	2,58
3	5 ГДК без рослин	502,5	61,2	25,7	0,010	23,4	0,725	98,9	90,8	1,56	32,7	30,0	0,058	10,1	0,698	0,010
4	5 ГДК + фітоценоз	368,9	30,0	22,4	90,7	48,7	0,974	64,2	76,1	12,3	11,2	20,6	0,144	6,12	0,543	0,010
5	10 ГДК без рослин	526,3	90,4	30,4	0,670	17,5	1,08	127,9	101,4	7,02	19,6	56,5	0,031	11,3	0,170	0,390
6	10 ГДК + фітоценоз	923,9	150,7	78,4	10,0	59,0	0,496	150,7	83,7	37,9	13,1	39,0	0,246	19,9	0,406	9,09
7	100 ГДК без рослин	516,7	128,2	20,6	20,0	7,58	0,390	76,9	71,1	4,27	13,4	45,9	0,128	12,8	0,353	15,2
8	100 ГДК + фітоценоз	960,9	156,5	53,7	4,67	26,6	1,16	105,1	95,1	9,21	15,5	54,9	0,391	13,8	1,16	1,53
	НР ₀₅	15,3	6,11	3,16	1,82	4,45	0,160	5,68	2,00	0,54	2,97	1,99	0,009	0,94		0,005

Примітка: КУО* – колонієутворююча одиниця

Таблиця 2
Вірогідність формування колоній мікроорганізмів (λ , год⁻¹ · 10⁻²) у сірому лісовому ґрунті, забрудненому важкими металами протягом 32 діб

№, з/п	Варіант	Амоніфікатори	Імобілізатори мінерального азота	Оліготрофи	Денітрифікатори	Педотрофи	Автохтонні	Целюлозоруйнівні	Мікроміцети	Мобілізатори мінеральних фосфатів	Азотобактер	Кислототворювальні	Стрептоміцети
1	Контроль без рослин	1,50	0,158	5,56	0,836	1,28	4,73	4,14	1,69	2,67	0,723	0,263	0,559
2	Контроль + фітоценоз	0,367	0,153	3,11	13,5	4,33	6,08	1,20	2,98	3,82	2,12	0,721	0,639
3	5 Г/ДК без рослин	0,424	0,189	1,02	0,439	1,00	4,93	0,745	2,13	4,27	0,010	0,010	0,615
4	5 Г/ДК + фітоценоз	1,88	0,146	2,78	10,7	2,64	3,61	0,846	1,06	2,58	1,95	0,020	0,516
5	10 Г/ДК без рослин	1,53	0,054	2,46	0,192	2,81	2,97	0,451	0,556	2,76	0,010	0,010	0,580
6	10 Г/ДК + фітоценоз	2,47	0,065	2,83	13,0	2,06	4,74	2,49	2,24	1,62	0,010	0,252	0,558
7	100 Г/ДК без рослин	0,971	0,063	1,24	4,01	2,55	4,26	2,80	5,41	3,44	0,332	2,64	0,615
8	100 Г/ДК + фітоценоз	2,73	0,017	3,80	0,294	1,37	5,02	1,44	2,21	4,12	0,134	0,261	0,590

Таблиця 3

Показники інтенсивності мінералізаційних процесів і фітотоксичні властивості сірого лісового ґрунту, забрудненому важкими металами протягом 32 діб

№, з/п	Варіант	Індекс педотрофності	Коефіцієнт оліготрофності	Коефіцієнт мінералізації азоту	Активність мінералізації гумусу, %	Інтенсивність респірації ґрунту, мг СО ₂ /кг ґрунту	Маса 100 рослин тест-культури – озимої пшениці, г		
							стебло	коріння	загальна маса
1	Контроль без рослин	0,348	0,313	0,390	26,1	204,9	7,71	5,19	12,9
2	Контроль + фітоценоз	0,161	0,029	0,094	15,7	194,9	6,85	6,45	13,3
3	5 Г/ДК без рослин	0,197	0,051	0,122	33,1	192,8	6,51	5,39	11,9
4	5 Г/ДК + фітоценоз	0,174	0,060	0,081	17,4	285,8	7,15	5,85	13,0
5	10 Г/ДК без рослин	0,243	0,058	0,172	15,4	128,7	6,28	4,82	11,1
6	10 Г/ДК + фітоценоз	0,163	0,085	0,163	8,70	187,4	6,61	4,89	11,5
7	100 Г/ДК без рослин	0,149	0,040	0,248	17,4	115,4	Внаслідок великої токсичності ґрунту насіння тест-культури не проросло		
8	100 Г/ДК + фітоценоз	0,109	0,056	0,163	14,7	278,5			
	НР ₀₅						0,12	0,08	

уповільнюється більшість досліджених мінералізаційних процесів, зростає накопичення токсичних речовин. Масштаби і спрямованість таких змін залежать від рівня забруднення ґрунту і наявності рослинного покриву.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Андреюк К. І.** Функціонування мікробних ценозів ґрунту в умовах антропогенного навантаження / К. І. Андреюк, Г. О. Іутинська, А. Ф. Антипчук та ін. – К. : Обереги, 2001. – 240 с.
- Водяницький Ю. Н.** Изучение тяжелых металлов в почвах / Ю. Н. Водяницький. – М. : ГНУ Почвенный институт им. В. В. Докучаева РАСХН, 2005. – 110 с.
- Малиновська І. М.** Мікробіологічні процеси в ризосфері рослин у забрудненому нафтопродуктами ґрунті / І. М. Малиновська, Н. А. Зінов'єва // Мікробіологія і біотехнологія. – 2011. – № 2. – С. 83-91.
- Малиновська І. М.** Особливості мікробних комплексів сірого лісового ґрунту перелогів та агроценозів / І. М. Малиновська, О. О. Черниш, О. П. Романчук // Збірник наукових праць Інституту землеробства. – К. : ЕКМО, 2007а. – Вип. 2. – С. 29-34.
- Малиновська І. М.** Спрямованість та інтенсивність мікробіологічних процесів у забрудненому нафтопродуктами темно-сірому опідзоленому ґрунті / І. М. Малиновська, Н. А. Зінов'єва // Вісник Полтавської державної аграрної академії. – 2010. – № 4. – С. 17-23.
- Малиновська І. М.** Стан мікробіоценозу ризосфери сої за комплексного оброблення насіння фосфатомобілізуючими мікроорганізмами і *Bradyrhizobium japonicum* 71T / І. М. Малиновська // Агроекологічний журн. – 2007б. – № 3. – С. 79-83.
- Dudman W. F.** The role of surface polysaccharides in natural environments // Surface carbohydrates of the procariotic cell / Ed. I.W. Sutherland. – New York: Acad.Press, 1977. – P. 357-414.
- El-Shinnawi M. M, Omran M. S.** Effect of different levels of a trace element nutritional mixture on organic matter decomposition and the number of certain heterotrophs in soil // Rostl. Vyroba. – 1976. – Vol. 22, N 1. – P. 11-17.
- Landa E. R., Frank S. C.** Effect of mercuric chloride on carbon mineralization in soils // Plant and Soil. – 1978. – Vol. 49, N 1. – P. 179-183.

Рекомендує до друку
А. В. Боговін

Надійшла до редколегії 05.04.12

ЕКОЛОГІЧНЕ ҐРУНТОЗНАВСТВО

УДК 631.4

О. Б. Вовк

ҐРУНТ В СИСТЕМІ СОЗОЛОГІЧНИХ КРИТЕРІЇВ ВИДІЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ ЕКОЛОГІЧНОЇ МЕРЕЖІ

Державний природознавчий музей НАН України

Визначено місце ґрунту в системі екологічної мережі для різних структурних елементів і рівнів її формування. Особливу увагу приділено антропогенним ґрунтам як компонентам відновних територій. Запропоновано набір ґрунтових параметрів для встановлення функціонального стану антропогенних ґрунтів. Обґрунтовано використання ґрунтового різноманіття, як созологічного критерію виділення об'єктів екомережі.

Ключові слова: екологічні функції ґрунту, антропогенні ґрунти, екомережа, охорона ґрунтів.

О. Б. Вовк

Государственный природоведческий музей НАН Украины

ПОЧВА В СИСТЕМЕ СОЗОЛОГИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ ВЫДЕЛЕНИЯ ОБЪЕКТОВ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СЕТИ

Определено место почвы в системе экологической сети для различных структурных элементов и уровней её формирования. Особое внимание уделено антропогенным почвам как компонентам восстановительных территорий. Предложен набор почвенных параметров для определения функционального состояния антропогенных почв. Обосновано использование почвенного разнообразия, как созологического критерия выделения объектов экосети.

Ключевые слова: экологические функции почвы, антропогенные почвы, экосеть, охрана почв.

O. B. Vovk

State Museum of Natural History of NAS of Ukraine

SOIL IN THE SYSTEM OF SODZOLOGICAL CRITERIA OF OBJECT SELECTION IN ECOLOGICAL NETWORK

The place of soil in different structural elements and levels of ecological networks has been determined. A particular attention is paid to the anthropogenic soils as a component of recovery areas. A set of soil parameters for establishing the functional state of anthropogenic soils has been proposed. The application of soil diversity as a sodzological criterion for selection of network object has been grounded.

Keywords: ecological functions of soil, anthropogenic soils, ecological network, protection of soils.

Формування екологічної мережі покликано забезпечити «... сталий, екологічно збалансований розвиток України, охорону навколишнього природного середовища, задоволення сучасних та перспективних економічних, соціальних, екологічних та інших інтересів суспільства...» (Закон України..., 2004). Відтак, поняття екомережі визначено у дефініції «єдиної територіальної системи, яка утворюється з метою поліпшення умов для формування та відновлення довкілля, підвищення природно-ресурсного потенціалу території України, збереження ландшафтного та біологічного різноманіття, місць оселення та зростання цінних видів тваринного і рослинного світу, генетичного фонду, шляхів міграції тварин через поєднання територій та об'єктів

природно-заповідного фонду, а також інших територій, які мають особливу цінність для охорони навколишнього природного середовища і відповідно до законів та міжнародних зобов'язань України підлягають особливій охороні». Успішне виконання поставлених в Законі завдань дозволить не лише оптимізувати природокористування на території країни, зробити ефективнішими природоохоронні ініціативи, але й інтегрувати екологічну мережу України в Європейську екомережу, або «EECONET», формування якої розпочалось ще у 1993 році (Всеевропейська..., 1998).

Основна ідея теорії екомережі, як і більшості сучасних природоохоронних ініціатив, до прикладу Natura 2000, Бернської, Бонської, Рамсарської конвенцій тощо (Council Directive..., 1992; Довідник..., 2009), полягає не у консервуванні об'єктів живої та неживої природи і збереженні її для прийдешніх поколінь, а у забезпеченні оптимального функціонування та можливості еволюції компонентів в екосистемі і разом з екосистемою. Отже, статичний підхід до охорони поступився місцем динамічному, комплексно-функціональному природоохоронному світогляду. Змінюється і розуміння місця ґрунту в природоохоронній системі цінностей, виникає потреба його дослідження не лише як субстрату, а через поняття «функції» – ролі і значення ґрунту і ґрунтових процесів в житті та існуванні об'єктів природи, їх збереженні та еволюції.

Структурними елементами екомережі визначено ключові, сполучні, буферні та відновлювані території в розумінні природно-територіальних комплексів, які сформовані біотичними і абіотичними компонентами, а отже і ґрунтом. Ґрунт є базовим компонентом будь-якого природного чи антропозованого комплексу, оскільки забезпечує зв'язки між іншими компонентами та функціональну стабільність всієї екосистеми. Однак, оцінки ґрунтів скеровані здебільшого на встановлення властивостей «орного шару», без врахування їхнього генезису та ролі в екосистемі. Параметри ґрунтів відсутні також у визначенні критеріїв охорони для природозаповідних об'єктів різного рівня, а в більшості з них ґрунтовий покрив досі не досліджений і не є пріоритетним напрямком наукової діяльності цих установ.

Питання охорони ґрунтів в нашій країні розглядається виключно через утилітарну, сільськогосподарську специфіку і прописано в законі «Про охорону земель» з точки зору втрати земельного ресурсу (орного шару ґрунтів) і недоотримання відповідного обсягу сільськогосподарської продукції (Закон України..., 2003, 2003(2)). З іншого боку, в Кодексі України про надра (Кодекс України..., 1994) стаття 23 надає власникам земельних ділянок і землекористувачам право, без отримання спеціальних дозволів (ліцензій) та гірничих відводів, видобувати для сільськогосподарських потреб корисні копалини місцевого значення і торф загальною глибиною розробки до 2 м і прісні підземні води – до 20 м та використовувати надра для сільськогосподарських потреб. Законодавство, яке має охороняти різноманіття та потенціал природних ґрунтів, надає власникові нічим не обмежені можливості його перетворення та знищення задля забезпечення своїх потреб і без застереження щодо збереження їх у природному стані як еталонів для оцінки та відновлення ґрунтового різноманіття.

Неабияким досягненням у сфері законодавчого забезпечення охорони ґрунтів можна вважати віднесення питань «резервування та подальшого надання статусу заповідної території ... для виділених еталонних типів ґрунтів» і «охорони та відтворення земельних ресурсів» (цитата з Програми розділ 1, пункт 3/1 та 3/2) до основних завдань «Загальнодержавної програми формування Національної екологічної мережі України на 2000-2015 роки» поряд з іншими аспектами збереження та відтворення біотичного різноманіття (Закон України ..., 2000). Однак, вже у розроблених пізніше методичних рекомендаціях щодо формування регіональних та місцевих схем екомережі критеріїв ґрунтового різноманіття знову відсутній (Про затвердження..., 2009).

Провідні вчені-грунтознавці тривалий час намагаються донести до громадськості та відповідних органів влади необхідність дослідження еколого-функціонального потенціалу ґрунтів для оцінки ґрунтово-деградаційних процесів і природоохоронного ресурсу території (Зубець, 2010, 2011). Але і надалі ці

спеціалізовані знання, які можуть допомогти знайти відповіді на багато проблемних питань щодо функціонування інших компонентів і екосистеми в цілому залишаються не затребуваними.

Методологія охорони природних біогеоценозів та їх окремих компонентів передбачає розробку системи критеріїв, аналізуючи яку можна зробити висновок про цінність об'єктів та потребу в їхній охороні. Такі критерії називають созологічними (критерій – підстава для оцінки, визначення або класифікації чогось, а «созологія» – від старогрецького слова «sodzo», що означає охороняти, рятувати). Відповідно, созологічний критерій – підстава для визначення та оцінки природоохоронного значення об'єкту природи.

Визначення таких критеріїв для ґрунту, який сам по собі є поліфункціональною, багатокомпонентною, складноорганізованою системою є непростим завданням. Водночас, запропоновані критерії мають відображати значення ґрунту в системі, яка потребує охорони, або його роль в збереженні особливо цінних компонентів цієї системи (рослин, ґрунтових та надґрунтових тварин тощо) і бути уніфікованими для потреб оцінки різних типів екосистем (природних, антропогенізованих, антропогенних). Важливим є вивчення не лише типу ґрунту (або ходу ґрунтоутворного процесу) але й встановлення функцій, які він виконує, або здатен виконувати.

В даній роботі ми спробуємо визначити місце ґрунту, через його властивості, функції та ґрунтоутворні процеси, в системі екологічної мережі для різних структурних елементів і рівнів її формування та обґрунтувати необхідність використання ґрунтового різноманіття, як созологічного критерію виділення об'єктів екомережі на рівні з іншими (флористичними, фауністичними, геоботанічними та ландшафтними) критеріями.

Різні ієрархічні рівні організації біосистем характеризуються різними механізмами підтримки біорізноманіття, в тому числі і ґрунтового, а відтак різняться і групи критеріїв оцінки, які, тим не менше, доповнюють одна одну і жодна з цих груп не є самодостатньою. Дослідження ґрунтового різноманіття та структури ґрунтового покриву елементів екомережі має здійснюватись від детальних структурних досліджень на місцевих рівнях до геосферно-функціональних узагальнень на загально зональних рівнях (табл.).

Характеристика ґрунту як созологічного критерію виділення різних рівнів та структурних елементів екологічної мережі

Рівні екомережі	Структурні елементи екологічної мережі			
	Ключові	Сполучні	Буферні	Відновлювані
Національний (поширення ґрунтів)	зональна структура ґрунтового покриву	структура азонального та інтразонального ґрунтового покриву	ґрунтові комбінації з включенням антропоізованих ґрунтів	ґрунтові комбінації з включенням антропогенних ґрунтів
Регіональний (функції ґрунтів)	функції ґрунтів в наземних екосистемах	функціональне значення азональних (інтразональних) ґрунтів	буферні функції антропоізованих ґрунтів	функціональна спроможність антропогенних ґрунтів
Місцевий (властивості ґрунтів)	природні ґрунти та їх середовищеформуючі властивості; ґрунтові еталони	азональні та інтразональні ґрунти, їх середовищеформуючі властивості; ґрунтові еталони	антропоізовані ґрунти, їх властивості	антропогенні ґрунти, їх властивості та перспективи відновлення екологічних функцій

Для виділення об'єктів екомережі на місцевому рівні необхідно вивчати кожную ґрунтову одиницю через її властивості, режими, місце в біогеоценозі та антропогенно спричинені зміни. Цей етап дослідження надає повну картину стану ґрунтів, в

умовах їх природно-оптимального розвитку та розкриває унікальність, повноцінність і потребу в охороні ґрунтової одиниці чи контору. Отримані дані дають можливість обґрунтувати виділення ґрунтових еталонів (Орлов, 2006), які репрезентують рідкісні або реліктово-зональні природні ґрунти, розвиток та функціонування яких визначається стабільністю та саморегуляцією ґрунтової екосистеми. Детальний аналіз властивостей ґрунтів послужить базисом для визначення особливостей їхнього функціонування на регіональному рівні та розкриття механізмів ґрунтоутворення на національному рівні формування екомережі.

Наступним рівнем дослідження ґрунту, як соціологічного критерію є встановлення його функцій в екосистемі та повнота їх виконання. Екологічні функції ґрунтів можна умовно розділити на дві категорії: перша – це функції, які безпосередньо визначаються сучасними властивостями ґрунтового середовища (фізичні, біохімічні тощо) і друга – інтегральні функції, які розвиваються з віком ґрунту в залежності від його походження (цілісні та інформаційні) (Добровольский, 1990). Основною соціологічною функцією ґрунту є забезпечення ним оптимального ґрунтового середовища для стабільного функціонування, відтворення та збереження особливо цінних угруповань біоти. Для ґрунтів природно-антропогенного та антропогенного походження функціональний підхід особливо важливий, оскільки дає можливість розкрити перспективи відновлення (або оптимізації) ґрунтової екосистеми.

Національний, етап дослідження та визначення об'єктів екомережі вимагає особливої наукової інформації про біо-геосферні процеси, результатом прояву яких є ґрунтовий покрив з притаманною йому мозаїчністю та контрастністю. Дослідження геосферних процесів (геолого-геоморфологічних, гідрологічних, ґрунтоутворних, флористичних тощо) покликано відобразити різноманіття природно-територіальних комплексів, що є необхідною умовою саморегуляції даної ключової території, а отже й створення умов для відновлення потенційної біоти, яка існувала на цій території в доагрокультурний період. Вклад ґрунтознавчих досліджень на цьому рівні полягає у науковій генералізації результатів досліджень властивостей та функцій ґрунтів з метою оцінки сучасного ґрунтового покриття території. Характеристики ґрунтового покриття з зональними (і/або з інтразональними, поясними) закономірностями поширення, в комплексі з іншими чинниками середовища формують унікальний природний об'єкт національного значення.

Ще однією системою координат для екологічної мережі, без якої проблематично забезпечити виконання основних завдань, є визначення територіальних елементів з різною структурою та функціями у збереженні біорізноманіття. Структурні елементи екомережі (ключові, сполучні, буферні та відновлювальні) визначаються за об'єктивно обумовленими природними чинниками, просторовими параметрами екосистем та інших типів територіальних утворень, відповідно до принципів Закону України «Про екологічну мережу України» (Про затвердження..., 2009). На сьогодні, законодавчо визначені ключові природні території та сполучні коридори національної екологічної мережі, більшість з яких має міжнародне значення, оскільки є складовими транскордонних елементів Всеєвропейської екологічної мережі (Царик, 2005).

Основним завданням ключових територій екомережі є збереження найбільш цінних і типових для даного регіону компонентів біологічного та ландшафтного різноманіття, які, здебільшого, не можуть існувати поза ґрунтом. Власне ґрунт забезпечує умови для існування більшості груп біоти на різних стадіях їхнього розвитку, через свої буферні властивості оберігає від негативного впливу антропогенних і (або) природних катастрофічних чинників та забезпечує, завдяки надійному генетичному пулу, можливість для відтворення біорізноманіття. Окрім того, ґрунт сам по собі є унікальним природним об'єктом, який має ознаки типовості, цінності або раритетності для конкретного регіону і може послужити самостійним критерієм для виділення структурного елементу екомережі (Вовк, 2010).

Первинна оцінка ґрунту має проводитись, поряд з оцінкою інших компонентів екосистеми, вже на етапі попередньої наукової експертизи потенційного об'єкта екомережі. Найбільш деталізованими і повними мають бути дослідження властивостей

всієї різноманітності ґрунтів для визначення ключових територій на місцевому рівні. Застосувавши екологічний підхід до вивчення властивостей ґрунтів, дослідники засобами структурно-просторових та біотично-середовищних параметрів, зможуть розкрити механізми забезпечення ґрунтом умов існування біоти, яка в своїх життєвих циклах залежить від нього і є об'єктом особливої охорони. Методологічна база ґрунтово-екологічних досліджень розроблена та успішно апробована вітчизняними науковцями (Назаренко, 2004; Горбань, 2007; Вовк, 2007; Травлев, 2008). Інформація про ґрунт як едафотоп – підсумковий компонент біогеоценозу, від якого залежить нормальне функціонування не лише окремих груп біоти, але й будь-якої наземної екосистеми, в подальшому допоможе розкрити функціональну роль ґрунту.

Так, наприклад, типові буроземи Українських Карпат формуються на флішових породах, збагачених півтораоксидами заліза та алюмінію, під буковими і мішаними грабово-смереково-буковими лісами. Характерною особливістю буроземів є слабка диференціація ґрунтового профілю, його буре забарвлення, підвищена кислотність, не насиченість основами, вміст гумусу 4-16 %, у складі якого переважають фульвокислоти. Наведених даних може бути достатньо для характеристики ґрунту такого ключового об'єкту місцевого значення, як заказник «Пікуй» де збереглися природні приполюнні букові ліси (Малиновський, 2008) (рис. 1).

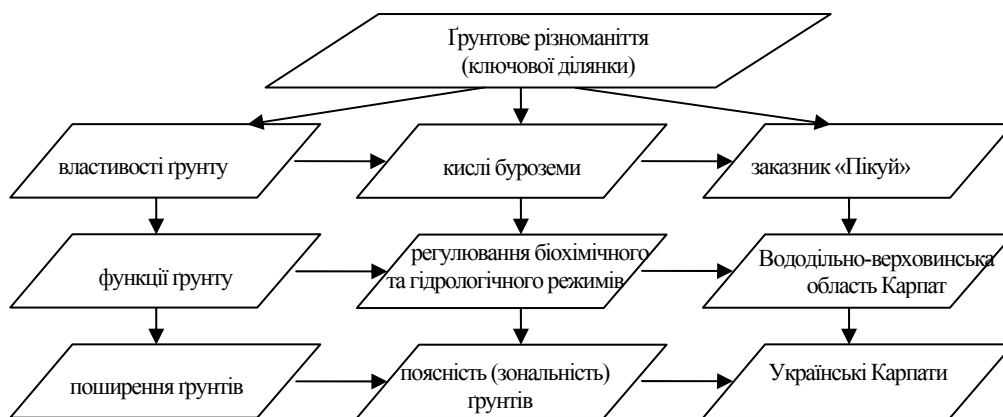


Рис. 1. Ієрархічні рівні дослідження ґрунту ключових елементів екологічної мережі на прикладі Українських Карпат

При переході на регіональний рівень – рівень Львівської області (Вододільно-Верховинська фізико-географічна область Карпат), необхідно дослідити особливості функціонування та розвитку ґрунтів, здатність виконувати ними основні екологічні функції. На цьому рівні підхід до оцінки ґрунтів має бути екологічним. Особливого наукового та господарського значення для Карпат набула оцінка функції ґрунту як регулятора природного гідрологічного режиму гірської території. Виконання власне цієї функції забезпечує захист від ерозії, вітровалів та зростання поверхневого стоку, яке може спровокувати катастрофічні повені в нижніх течіях гірських рік. Унікальною є функція ґрунту нагромадження і зберігання в генетичному профілі інформації про тривалі періоди розвитку природного середовища і здатність відтворювати цю інформацію у послідовних стадіях природних сукцесій. Докладне вивчення цих функцій забезпечить об'єктивну оцінку стабільності розвитку і функціонування екосистеми і її здатність до самовідновлення.

Узагальнюючи дані в межах наведеного прикладу доцільно говорити про вертикальну поясність та мозаїчність ґрунтового покриття Українських Карпат. Різноманітність прояву буроземоутворення в поєднанні з допоміжними процесами ґрунтоутворення в гумідно-лісових умовах добре дренованих гірських схилів, промивного водного режиму і багатого азотно-кальцієвого кругообігу речовин сприяли формуванню цілого спектру ґрунтів буроземного ряду – від буроземів

гірсько-лучних на полонинах до буро-підзолистих ґрунтів Передкарпаття. Власне особливості буроземоутворення та сформована за його дії структура ґрунтового покриву, дозволили виділити тут окрему гірську провінцію Західно-буроземно-лісової ґрунтової області, природоохоронне значення якої можна оцінити лише на національному рівні.

Вагомим результатом дослідження ґрунтів ключових об'єктів екомережі на місцевому рівні послужить виділення, документування та означення на території ґрунтових еталонів, які, об'єднані в єдину систему, створять нормативний каркас ґрунтово-охоронної діяльності в межах екомережі. Система ґрунтових еталонів стане основою для оцінки впливу господарської діяльності на ґрунтові процеси та розробки механізмів науково-обґрунтованого ведення господарської діяльності. Методологія виявлення та документування ґрунтових еталонів вже опрацьована і дозволяє виділяти еталони різних категорій, від природних до антропогенних, відповідно до їх статусу, природоохоронного та наукового значення (Орлов, 2006).

Особливі завдання покладаються і на екокоридори, які мають забезпечити зв'язки між ключовими територіями, а відтак і цілісність екомережі. Сполучні території повинні включати максимальну кількість природних об'єктів, характерних для ключових територій, які вони поєднують і бути достатньо широкими для забезпечення підтримання процесів розмноження, обміну генофондом, міграції видів тощо (Про затвердження..., 2009). Більшість показників, в тому числі і ґрунтових, за якими виділяються екокоридори, збігається з показниками оцінки ключових територій. Однак, як справедливо зазначено, крім сполучного значення, екокоридор може мати самостійне значення для збереження біологічного та ландшафтного різноманіття. Це особливо важливо для територій гідроекологічних коридорів, де в заплавах рік формується окремий клас алювіальних ґрунтів, які мають інтразональне поширення. Созологічна роль алювіальних едафотопів полягає у створенні особливого середовища існування рідкісних та зникаючих видів біоти, властивості якого визначені гідрологічними паводково (повенево)-аккумулятивними процесами, які сприяють нагромадженню на поверхні заплави алювіальних наносів – намулу. Завдяки його біологічній активності та безпосередній участі в процесах ґрунтоутворення, ґрунти заплави набувають вищої потенційної родючості, аніж більшість зональних ґрунтів. Алювіальні едафотопи, які є генетичним детермінантом заплавної екосистеми і виконують функції збереження еволюційної інформації, катастрофічно скорочують свої площі, втрачають функціонально важливі властивості (Орлов, 2010). На прикладі річкових заплави Закарпатської низовини встановлено, що збереження режиму заплавної та акумуляції річкового намулу, як природного меліоранту для ґрунтів гідроморфного ряду, є ключовим завданням в питаннях збалансованого функціонування та охорони заплавної екосистеми (Вовк, 2008). Для класу алювіальних ґрунтів належить визначити типові, рідкісні та зникаючі ґрунтові еталони, спостереження за якими дозволить встановити регіональні особливості алювіального ґрунтоутворення та їхню роль в збереженні і відтворенні природного різноманіття.

Головною функцією буферної території є забезпечення захисту територіальних елементів екомережі від негативного антропогенного впливу (Про затвердження..., 2009). Це, здебільшого, антропогенізовані екосистеми, властивості та стан ґрунтів яких визначається інтенсивністю та характером господарювання. В таких умовах особливого значення набувають буферні і регуляторні механізми, здатні забезпечити гомеостаз системи (Добровольський, 1990). Йдеться про здатність ґрунту нівелювати різкі коливання вхідних потоків речовини (мінеральні добрива, паливо-мастильні матеріали тощо) та енергії (додаткове механічне навантаження, педотурбації тощо) в ґрунт, зберігаючи, таким чином функціонування біогеоценозу в межах толерантності. Отримати науково обґрунтовані відповіді на ці питання допоможуть моніторингові спостереження за змінами властивостей та середовищеформуючих функцій ґрунтів буферних територій у порівнянні з природними непорушеними ґрунтами.

Ще один об'єкт екомережі - відновлювальні території – це потенційний резерв, за рахунок якого можливо збільшити у майбутньому площу ключових та сполучних

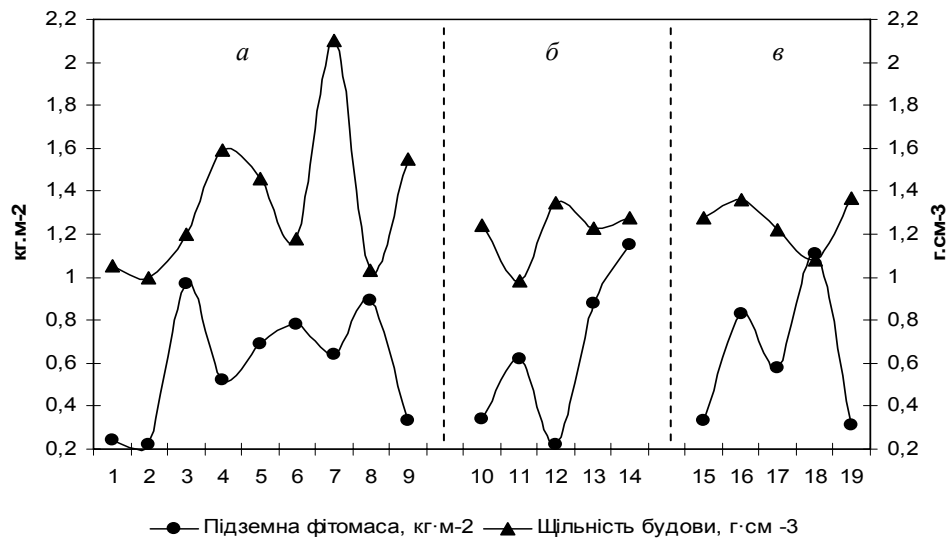
територій. Критеріями вибору відновлювальних територій є збереження на них середовищ існування, навіть якщо природне біорізноманіття повністю знищено (осушені торфовища, деградовані лучні та степові природні пасовища, зріздені ліси, агроценози інтенсивного використання) та реальна можливість проведення ренатуралізаційних заходів (Про затвердження..., 2009). Незважаючи на те, що офіційні рекомендації не пропонують враховувати критерій ґрунтового різноманіття для виділення об'єктів екомережі, стає очевидним, що для оцінки відновних територій на різних рівнях йому належить визначальне значення. Для таких територій, які мають, здебільшого, антропогенне походження, характерне формування широкого спектру антропогенних едафотопів, які вирізняються своїми властивостями та функціональною спроможністю. Такі ґрунти в комплексі з природними та природно-антропогенними ґрунтами утворюють мозаїчний ґрунтовий покрив, здатні виконувати більшість екологічних функцій, спрямовують процеси самовідновлення або вказують на потреби реставрації порушеної екосистеми. Завдяки тривалій історії формування природного ґрунту, його генетичний профіль відображає послідовність розвитку екосистеми, а найбільш інформативною є нижня частина профілю. Тому ґрунти, в яких зруйновано лише верхні органігенні горизонти генетичного профілю (сільськогосподарське, лісгосподарське, рекреаційне використання) все ще зберігають енергетично-біотичний пул (пам'ять) ландшафту і навіть після повного знищення надземного (або тваринного компоненту) покриву, за сприятливих умов можуть реалізувати свій біотичний потенціал і скерувати розвиток сукцесії у русло його природного відновлення. Антропогенно сформовані ґрунти (техногенно-видобувне, промислове та містобудівниче використання) на місці повного фізичного або хімічного знищення профілю природного ґрунту такої «пам'яті» не мають і відновлення їхніх функцій залежить від первинних характеристик субстрату. Породні субстрати, різного віку і складу створюють в техногенних ландшафтах безконкурентні умови для поселення і активного розвитку різних груп біоти, які трансформують первинний матеріал і залучають його до ґрунотворного циклу. Таким чином, антропогенні ґрунти на початкових стадіях розвитку є більшою мірою функціональним явищем, ніж субстратним, а можливість виконання ними функцій визначається їхнім субстратно-функціональним станом.

Специфіка умов формування ґрунтів в техногенних екосистемах потребує визначення окремого пакету методів ґрунтових досліджень, за допомогою яких можна отримати параметри їхнього функціонального стану. В ході тривалих досліджень встановлено, що набір таких параметрів може різнитись в залежності від інтенсивності та тривалості антропогенного впливу на ґрунт (Вовк, 2007). Так, для природно-антропогенних ґрунтів (інтенсивне рекреаційне, сільськогосподарське, лісгосподарське навантаження) найчутливішими виявились параметри водно-фізичного стану (співвідношення між повною вологоємністю та реальною вологістю на фоні переувільнення). Серед властивостей урбаноземів, техноземів та значної частини урбаногрунтів індикаторне значення мають фізико-хімічні властивості та параметри, які відображають реакцію-відповідь біоти на інтенсивність та тривалість навантаження (наприклад, параметри дихання ґрунту та співвідношення фітомаси рослинних угруповань). Для техноґрунтів функціонально важливими є їхні фізичні властивості. Зважаючи на провідну роль фізичних властивостей антропогенних ґрунтів у забезпеченні їхньої функціональної спроможності, особливого значення набуває морфологічна діагностика таких ґрунтів. Саме ці властивості та діапазон їх відхилення від оптимуму є вагомими чинниками перебудови структури та прояву біогенності антропогенних ґрунтів.

Міцність екологічних зв'язків між антропогенно порушеним едафотопом та сформованим тут фітоценозом достовірно описує показник розподілу підземної фітомаси рослинних угруповань в залежності від щільності будови верхніх шарів ґрунту. Зі збільшенням щільності будови ґрунту кількість живої підземної фітомаси рослинних угруповань зменшується і ця обернена залежність описує до 80 % всіх досліджених випадків (рис. 2). В екстремальних умовах міста та кар'єрних розробок власне фізичні властивості ґрунтового субстрату, часто успадковані від підстилаючих

гірських порід, є лімітуючими факторами для розвитку кореневої системи рослин. Щільність будови ґрунту та його пористість визначають обсяги вологи і повітря доступних для рослин, а отже успішність їхнього розвитку. Низкою наукових досліджень встановлені залежності, часом на межі толерантних, між функціонуванням інших груп біоти та властивостями ґрунту в різних типах антропогенних ландшафтів (Вовк, 1999; Марискевич, 2000; Міхновська, 1975; Рагуліна, 2009). Не слід відкидати вплив і інших факторів на життєздатність рослинних угруповань антропогенних ландшафтів, однак для обґрунтованого визначення їхньої здатності до самовідновлення властивості ґрунту є базовими. Це вагомішого значення набувають ґрунтові показники за потреби розробки заходів з ренатуралізації території з проведенням повного або часткового (верхні гумусомісткі шари) конструювання ґрунтового профілю.

Доречно звернути увагу на вагому наукову цінність дослідження ґрунтів антропогенно змінених ландшафтів та залучення їх до об'єктів мережі. Серед них, як і серед типових та рідкісних природних ґрунтів доцільно визначати ґрунтові еталони, які слугуватимуть маркерами якості відновних процесів в екосистемах. Такими мають стати еталони окультурених ґрунтів як моделі високої родючості та (або) взірці збалансованого землеробства. Ґрунти цієї категорії повинні виділятися на території об'єктів тривалого, але ощадливого обробітку земель, таких як держсортодільниці, варіанти стаціонарних дослідів, поля господарств, де впроваджено контурно-меліоративну систему землеробства.



Умовні позначення: *a* – кар’єрні комплекси безвідвального виробництва (Розточчя-Опілля); *б* – міські парки (м. Львів); *в* – міська забудова (м. Львів); 1–19 – номери дослідних ділянок.

Рис. 2. Тренди залежності продуктивності фітоценозів (підземна фітомаса) від фізичних властивостей (щільність будови) антропогенних ґрунтів

До еталонів антропогенних ґрунтів мають бути включені деякі відміни урбаногенних (урбаноземи) та техногенних (техноземи) ґрунтів, з метою збереження інформації про найбільш вдалі варіанти самовідновлення або конструювання людиною ґрунтового профілю. Тривалі моніторингові дослідження таких еталонів дозволять отримати абсолютно нові та цінні наукові данні щодо перебігу подальших процесів ґрунтоутворення, функціонування антропогенних ґрунтів та забезпечення ними оптимальних умов життєдіяльності всіх компонентів біоценозу (Орлов, 2006). Отримана інформація дозволить відшукати ощадливі шляхи рекультиваци ґрунтових белендів та відновити санітарні функції антропогенно утворених ґрунтів. Лише за умов комплексного наукового підходу до вивчення та господарювання відновні

території різного ступеня антропогенної трансформації можуть бути включені до складу ключових або сполучних об'єктів, або безпосередньо перетворитися на ключовий або сполучний об'єкт екомережі.

Формування та забезпечення дієвості механізмів оптимального функціонування екологічної мережі України – це складний багаторівневий та різнокомпонентний процес, результатом якого буде збереження та збалансоване використання всього комплексу екосистем, середовищ існування та видів біоти. Врахування у цьому процесі одного з базових компонентів, яким є ґрунт, допоможе розкрити функціональне значення екомережі. Отже, для більш обґрунтованого виділення об'єктів екомережі, доцільно враховувати наступні положення:

1. Ґрунт виступає важливим екологічним критерієм для обґрунтування репрезентативності ключових та сполучних об'єктів екомережі та встановлення функціональної спроможності буферних, а особливо відновлювальних територій.

2. Використовувати широкий спектр характеристик ґрунту на різних рівнях організації екомережі – від його окремих властивостей до основних функцій та ґрунтоутворних процесів. Кожному ієрархічному рівню має відповідати свій набір індикаційних параметрів ґрунту.

3. Впровадження ґрунтових еталонів та за їх допомогою ведення моніторингу стану ґрунтів буферних та відновних територій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

Вовк О. Алювіальні наноси річок Закарпатської низовини і їх роль у заплавному ґрунтоутворенні / О. Вовк, О. Орлов // Генеза, географія та екологія ґрунтів. – Львів, 2008. – С. 113-120.

Вовк О. Б. Ґрунт як об'єкт охорони у природно-заповідному фонді України / О. Б. Вовк, О. Л. Орлов // Матер. між нар. науково-практичної конф. «Природно-заповідний фонд України – минуле, сьогодення, майбутнє» (смт. Гримайлів, 26–28 травня 2010 р.) / Відп. ред. Г. І. Оліяр. – Тернопіль : Підручники і посібники, 2010. – С. 151-155.

Вовк О. Б. Особливості ведення ґрунтового моніторингу в умовах міста (на прикладі м. Львова) / О. Б. Вовк // Екологія та ноосферологія. – 2007. – Т. 18, № 1-2. – С. 57-63.

Вовк О. Б. Оцінка екологічного стану техноґрунтів парку «Знесіння» (м. Львів) / О. Б. Вовк, Ю. Ю. Шрубівич // Вісник ЛДУ. Сер. геогр. – 1999. – Вип. 25. – С. 95-96.

Всеєвропейська стратегія збереження біологічного і ландшафтного різноманіття / Адаптери укр. видання Я. Мовчан, Г. Парчук, Т. Журбенко та ін. – К. : Авалон, 1998. – 52 с.

Горбань В. А. Екологічні властивості ґрунтів: теоретичні аспекти / В. А. Горбань // Екологія та ноосферологія. – 2007. – Т. 18, № 3-4. – С. 53-60.

Добровольский Г. В. Функции почв в биосфере и экосистемах / Г. В. Добровольский, Е. Д. Никитин. – М. : Наука, 1990. – 261 с.

Довідник чинних міжнародних договорів України у сфері охорони довкілля / Кол. авт.: Андрусевич А., Андрусевич Н., Козак З. – Львів, 2009. – 203 с.

Закон України «Про державний контроль за використанням та охороною земель» // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 2003, № 39. – С. 350.

Закон України «Про екологічну мережу України» від 24 червня 2004 р. № 1864-IV // Урядовий кур'єр. – 2004. – 14 вересня. – № 172.

Закон України «Про загальнодержавну програму формування національної екологічної мережі України на 2000–2015 роки» від 21 вересня 2000 р. № 1989 111 // Урядовий кур'єр. – 2000. – 8 листопада. – № 207.

Закон України «Про охорону земель» // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 2003 (2), № 39. – С. 349.

Зубець М. В. Сучасний стан ґрунтового покриву України і невідкладні заходи з його охорони / М. В. Зубець, С. А. Балюк, В. В. Медведєв, В. О. Греков // Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвідомчий тематичний науковий збірник. Спеціальний випуск. Книга 1. – Житомир : «Рута», 2010. – С. 7-17.

Зубець М. В. Стратегія збалансованого використання і охорони земель України / М. В. Зубець, В. В. Медведєв, С. А. Балюк // Вісник аграрної науки. – 2011. – № 4. – С. 19-23.

Кодекс України «Про надра» // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 1994. – № 36. – С. 340.

Малиновський А. Система охорони природного середовища у Львівській області / А. Малиновський, П. Третяк // Праці Наукового Товариства Ім. Шевченка. Том XXIII: Екологічний Збірник: «Дослідження біотичного й ландшафтного розмаїття та його збереження».

На пошану професора К. Малиновського». – Львів : Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2008. – С. 238-257.

Марискевич О. Г. Первинна сукцесія на відвалах Язівського родовища сірки: зміни ґрунтових параметрів / О. Г. Марискевич, І. М. Шпаківська, М. А. Павлюк та ін. // Проблеми і перспективи розвитку природоохоронних об'єктів на Розточчі. – Львів : Логос, 2000. – С. 109-112.

Михновская А. Д. Микробиологические процессы в примитивных почвах на лессовых отвалах / А. Д. Михновская, Л. В. Егереvская, Е. И. Лапта // Рекультивация земель. – Тарту, 1975. – С. 236-244.

Назаренко І. І. Екологічні функції гумусу / І. І. Назаренко, М. А. Бербець, Б. П. Червінка та ін. // Ґрунтознавство. – 2004. – Т. 5, № 1-2. – С. 5-15.

Орлов О. Л. Колекція еталонів ґрунтів заходу України як засіб документування природного різноманіття / О. Л. Орлов, Ю. М. Чорнобай, О. Б. Вовк // Наукові записки ДПМ. – Львів, 2006. – Т. 22. – С. 17-24.

Орлов О. Л. Різноманіття та особливості поширення ґрунтів Закарпатської низовини / О. Л. Орлов, О. Б. Вовк // Вісник Ужгородського у-ту. Серія: Біологія. – 2010. – Вип. 28. – С. 147-151.

Про затвердження Методичних рекомендацій щодо розроблення регіональних та місцевих схем екомережі / Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища від 13.11.2009, № 604.

Рагуліна М. Є. Функціональна роль бріюфітів у ренатуралізації техногенно змінених екосистем Волино-Поділля / М. Є. Рагуліна, О. Б. Вовк, О. Л. Орлов // Наукові записки ДПМ. – Львів, 2009. – Т. 25. – С. 117-124.

Травлев А. П. Лес как фактор почвообразования / А. П. Травлев, Н. А. Белова // Ґрунтознавство. – 2008. – Т. 9, № 3-4. – С. 6-26.

Царик П. Л. Регіональна екологічна мережа: географічні аспекти формування і розвитку (на матеріалах Тернопільської області). – Тернопіль : ТНПУ, 2005. – 172 с.

Council Directive 92/43/EEC of May 1992 on the conservation of natural habitats and wildfauna and flora // Official Journ. of the European Union. – 1992. – L 206. – P. 1-50.

Рекомендує до друку
Ю. М. Чорнобай

Надійшла до редколегії 07.12.11

ЕКОЛОГІЧНА МІКРОМОРФОЛОГІЯ ҐРУНТІВ

УДК 631.42

О. В. Стрижак

ЕКОЛОГО-МІКРОМОРФОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ҐРУНТІВ ЗАПЛАВНИХ ПРИРУСЛОВИХ ЛІСОВИХ БІОГЕОЦЕНОЗІВ р. САМАРИ

Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара

Наведено результати дослідження особливостей мікроморфологічної організації ґрунтів заплавних прируслових біогеоценозів. Основними мікроморфологічними рисами є плазмово-піщаний мікроустрій, гумусо-глиниста плазма, поровий та щільний мікроустрій. Встановлені основні екологічні фактори, які формують ці особливості.

Ключові слова: мікроморфологічна організація, екологічні фактори, заплавні біогеоценози.

О. В. Стрижак

Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара

ЭКОЛОГО-МИКРОМОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВ ПОЙМЕННЫХ ПРИРУСЛОВЫХ ЛЕСНЫХ БИОГЕОЦЕНОЗОВ р. САМАРЫ

Приведены результаты исследований особенностей микроморфологической организации почв пойменных прирусловых биогееценозов. Основные микроморфологические особенности: плазменно-песчаное элементарное микростроение, гумусо-глинистая плазма, поровое и плотное микрослоение. Выявлены основные экологические факторы, которые формируют эти особенности.

Ключевые слова: микроморфологическая организация, экологические факторы, пойменные биогееценозы.

O. V. Strizhak

O. Gonchar Dnipropetrovsk National University

ECOLOGICAL AND MICROMORPHOLOGICAL SOIL FEATURES OF RIVERBED FLOODPLAIN FOREST BIOGECENOSES OF SAMARA RIVER

The study results of the micromorphological organization features of riverbed floodplain soil biogeocenoses are presented. The main micromorphological features are: plasma-gritty basic microstructure, humus-clay plasma, porous and dense microstructure. The basic environmental factors forming these features are ascertained.

Keywords: micromorphological organization, environmental factors, floodplain biogeocenoses.

Короткозаплавні ліси на території південного сходу України приурочені до заплав рік Самари, Вовчої, Орелі, що входять до басейну Дніпра. Повінь в цих умовах триває близько 10 днів, унаслідок чого явища заплавності і алювіальності є слабкішими порівняно з Дніпровською заплавою, поступаючись місцем факторам зонального характеру. Тому в заплавах цих рік у рослинного покриву виражені риси остеповіння, що зближають його з рослинністю плакорних позицій. Флора

короткозаплавних лісів відрізняється значною видовою розмаїтістю. По поперечному профілю долини Самари простежується наявність трьох екологічних зон, властивих заплавній терасі: приуслової зони, центральної заплави і притерасної зони (Бельгард, 1950, 1971). Оптимальними позиціями для лісових угруповань в умовах заплави є супіщані приуслов'я, ділянки древніх приуслових валів, територія піднятої центральної заплави і підняті ділянки притерасся.

У геоморфологічному відношенні приуслова частина заплави представлена піщаними і супіщаними валами, що піднімаються над межею рівня води в річці в середньому на 6–8 м (перевищення приуслового валу щодо рівня ріки досягає 7 м). Приуслова заплава Самари за шириною становить 50 м, лише на окремих ділянках майже безпосередньо переходить у центральну заплаву (Бельгард, 1950, 1971; Белова, 1997).

У геоструктурному відношенні заплава підстеляється щільними сіро-бурими глинами харківського ярусу і грузлими темно-сірими глинами, відмежованими один від одного алювіальними пісками. Рівень ґрунтових вод у приусловій частині 6,56 м (Бельгард, 1950, 1971; Травлев, 1972).

ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження еколого-мікроморфологічних особливостей ґрунтів заплавних приуслових біогеоценозів р. Самара виконували в лабораторії мікроморфології ґрунтів науково-дослідного інституту біології та кафедри геоботаніки, ґрунтознавства та екології Дніпропетровського національного університету ім. Олеся Гончара. Відбір ґрунтових монолітів проводився на пробній площі 208 Науково-навчального центру Дніпропетровського національного університету ім. Олеся Гончара «Присамарський біосферний стаціонар ім. О. Л. Бельгарда» (Новомосковський р-н, Дніпропетровська обл.) у складі Комплексної експедиції Дніпропетровського національного університету ім. Олеся Гончара.

Виготовлення шліфів виконувалось за загально прийнятим методом, розробленим Е. Ф. Мочаловою (1956). Розшифрування мікроморфологічної організації ґрунтів проводилося за загально прийнятою схемою О. І. Парфьонові та К. А. Ярилової (1977) під керівництвом Н. А. Білової.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Сучасний стан приуслових лісових біогеоценозів вивчався на прикладі пробної площі № 208 – природній липово-в'язово-ясеневої діброви (D'n) з добре розвинутим підліском, яка розташована на приусловому валу річки Самари.

Типологічна формула: $D'n. \frac{СП_2}{Тін.ч - III} 4Д.зв.3Л.с.2В.г.1Я.зв.$,

де СП – супіщаний ґрунт; Тін – тінювий тип; III – третя вікова стадія; Д.зв. – дуб звичайний; Л.с. – липа серцелиста, В.г. – в'яз гладкий, Я.зв. – ясен звичайний.

Деревний ярус складений дубом звичайним (*Quercus robur* L.), липою серцелистою (*Tilia cordata* Mill.), ясенем звичайним (*Fraxinus excelsior* L.), в'язом гладким (*Ulmus laevis* Pall) з домішкою клена польового (*Acer campestre* L.) та гостролистого (*A. platanoides* L.). У чагарниковому підліску – бруслина європейська (*Euonymus europaea* L.) та бородавчаста (*E. verrucosa* Scop.).

Лісорослинні умови – супісок свіжий (СП₂). Тип світлової структури – тінюва, третього вікового ступеню, світловий стан нормальний. Зімкнутість крон деревостану – 0,6–0,8, зімкнутість чагарникового підліску – 0,4–0,6.

Макроморфологічна характеристика ґрунтового профілю

- | | |
|-------------------------|--|
| hP ₁ 0–9 см | Темно-сірий гумусовий горизонт, супіщаний, безструктурний, пухкий, свіжий, корененасичений, в основному, трав'яною рослинністю. |
| hP ₂ 9–27 см | Світліше попереднього, перехід за кольором і зменшенням корененасиченості (одичинні, великі корені дерев'яних рослин), пухкий, безструктурний, піщаний. Є ходи ґрунтових хребетних тварин. |

- hP₃ 27–43 см Гумусовий горизонт, супіщаний, перехід за щільністю і кольором (щільність зростає по профілю), корененасиченість слабка, свіжий.
- hP 43–74 см Сірий з білими плямами промитого піску, менш щільний, ніж попередній. Свіжий, безструктурний, піщаний, є ходи ґрунтових хребетних.
- hP 75–110 см Пухкий, свіжий, безструктурний, піщаний.
- Ґрунт – заплавно-лісовий, малогумусний, вилужений, супіщаний, шаруватий на алювіальних відкладеннях.

Мікроморфологічна характеристика ґрунтового профілю

Горизонт hP₁ (0–9 см)

Елементарний мікроустрій – плазмово-піщаний. Скелет складений, в основному, зернами кварцу, польового шпату, біотиту. Зерна переважно великі та середні за розмірами, катаної форми зі слідами переносу (рис. 1, а) та деякі втратили подвійне заломлення в результаті процесів вивітрювання. Займають 70 % від загальної площі. Плазма гумусо-глиниста. Гумус бурий, аморфний, займає значну долю в загальній плазмі. Подекуди мікрозони гумусо-глинистої плазми з подвійним заломленням, орієнтація скелетна або острівна. Сконцентрована на скелетних зернах. Зони з подвійним заломленням на мікроагрегатах або скелетних зернах. Органічна речовина представлена бурим гумусом, свіжими та добре розкладеними рослинними залишками (рис. 1, б). Добре розкладена органіка утворює плями різноманітної форми та різні за розмірами, які нерівномірно розташовані в площині шліфа. Гумус пропитує ґрунтовий матеріал, огортає мінеральні зерна органічними плівками і заповнює різні нерівності на поверхні зерен. Мікроагрегати прості, органо-мінеральні та викиди ґрунтової мезофауни (рис. 1, в). Пори-упаковки, та рідше пори-ходи ґрунтової мезофауни, з окремими мінеральними зернами в них. Стінки пор утворені скелетними зернами. Зустрічаються мікрозони з меншою щільністю та мікроагрегатами ґрунтової мезофауни, що наводить на думку про те, що це засипані пори, які були прориті ґрунтовими безхребетними.

Горизонт hP₂ (9–27 см)

Елементарний мікроустрій – плазмово-піщаний. Більш щільний горизонт за попередній. Плазма гумусо-глиниста. Гумус бурий, аморфний, сконцентрований на скелетних зернах. Превалює гумусна частина. Глинистої дуже мало, з скелетною орієнтацією. Скелет представлений зернами кварцу, польового шпату. В більшості великі та середні за розмірами, катаної форми зі слідами переносу та деякі втратили подвійне заломлення в результаті процесів вивітрювання. Органічна речовина представлена бурим гумусом, свіжими та добре розкладеними рослинними залишками. Гумус по типу муль, рослинні залишки, які добре розклалися, утворюють плями різноманітної форми та різні за розмірами і розташовані в площині шліфа нерівномірно. В основному, зустрічаються пори-упаковки, утворені скелетними зернами. Кількість біогенних пор зменшується, превалюють фітогенні пори зі свіжими рослинними залишками. Загальна пористість падає. На відміну від попереднього горизонту знижується кількість мікроагрегатів та викидів ґрунтової мезофауни.

Горизонт hP₃ (27–43 см)

Елементарний мікроустрій – плазмово-піщаний. Щільність падає. Скелет складений, в основному, зернами кварцу, польового шпату. В більшості великі та середні за розмірами, катаної форми зі слідами переносу та деякі втратили подвійне заломлення в результаті процесів вивітрювання. Плазма гумусо-глиниста. Гумус бурий, аморфний. Орієнтація порова, скелетна та острівна. Більше мікрозон гумусо-глинистої плазми порівняно з горизонтами, які розташовані вище. Плазма розташовується у вигляді плівок на зернах мінералів, що мають органічне і глинисте походження. Органічна речовина представлена бурим гумусом, свіжими та добре розкладеними рослинними залишками. Рослинні залишки – сильно розкладені, в вигляді аморфних плям з нечіткими краями та подекуди свіжі, слабо розкладені – із збереженням клітинної будови, яка в схрещених ніколях світиться. На відміну від попередніх горизонтів пористість збільшується. Крім пор-упаковок з'являються

каналоподібні та міжагрегатні пори. За походженням – зоогенні з викидами ґрунтової мезофауни, та фітогенні – в порі добре розкладені рослинні залишки. Також зустрічаємо напів- або засипані пори ґрунтовим матеріалом. Кількість мікроагрегатів зростає. Більш оформлені, прості, органо-мінеральні за походженням.

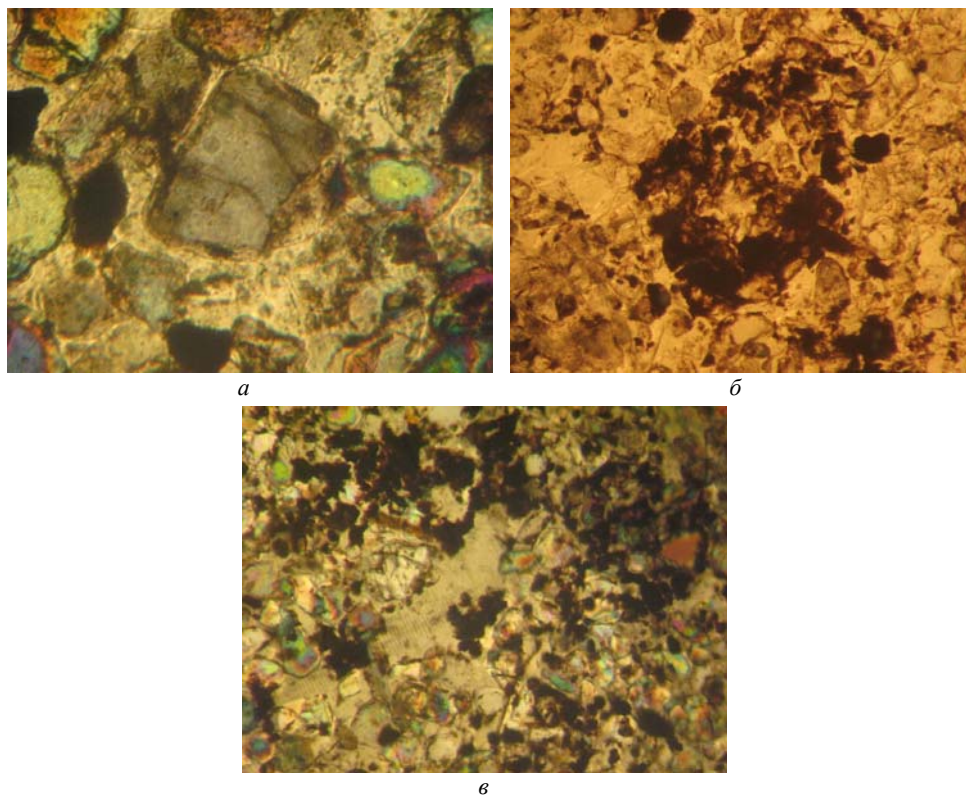


Рис. 1. Мікроморфологічні особливості ґрунтів прируслового валу:

- a* – зерна скелету із слідами переносу X 100 нік ||;
б – добре розкладена органічна речовина горизонт hP (0–9 см) X 60 нік ||;
в – викиди ґрунтової мезофауни hP (0–9 см) X 60 нік ||

Горизонт H_p (43–74 см)

Елементарний мікроустрій – плазмово-піщаний. Більш щільний за попередні, та темніший. Колір надає більша кількість бурого гумусу та добре розкладеної аморфної органічної речовини. Скелет складений, в основному, зернами кварцу, польового шпату. Збільшується доля дрібних мінералів, катаної форми зі слідами переносу та деякі втратили подвійне заломлення в результаті процесів вивітрювання. Плазма гумусо-глиниста (рис. 2, б). Одиначні мікрозони із залізистою плазмою. Гумус бурий, аморфний. Орієнтування глинистої частини скелетне та острівне. Сконцентрована на скелетних зернах та мікроагрегатах. Органічна речовина представлена аморфним, бурим гумусом. При малих збільшеннях забарвлення площини шліфа більш темніше, ніж в попередніх, що зумовлено більшою концентрацією гумусу. Рослинні залишки добре розкладені та представлені темно-бурими плямами з нечіткими краями. Їх розташування в площині шліфу нерівномірне. Зустрічаються ізотропні добре розкладені, округлі, з чіткими краями рослинні залишки. Складаються з гумусо-глинистої плазми та дрібних мінеральних зерен, які надають їм при схрещених ніколях плямистого забарвлення. Площа порового простору зменшується на відміну від горизонту hP₃. Трапляються міжскелетні та міжагрегатні пори-упаковки та напівзасипані каналоподібні пори (рис. 2, а).

Горизонт hP (74–110 см)

Елементарний мікроустрій – плазмово-піщаний (рис. 2, в). Більш світліший за попередній. Скелет представлений зернами кварцу, польового шпату. В більшості великі та середні за розмірами, катаної форми зі слідами переносу та деякі втратили подвійне заломлення в результаті процесів вивітрювання. Плазма гумусо-глиниста. Гумус бурий, аморфний. Розташування на скелетних зернах, окремими мікроелементами та складає мікроагрегати. В одиничному випадку сформована на вуглеподібному залишку кореня. Орієнтація – крапчата та агрегатна. Так як і в інших горизонтах органічна речовина така ж сама. Але на відміну від горизонту Нр кількість її дещо зменшується. Зустрічаються зрізи коренів. В цьому горизонті з'являються органо-мінеральні мікроагрегати. Їх форма різноманітна, для більшості характерний ореол з глинистої речовини в схрещених ніколях. Доля порової частки зменшується. Але на відміну від інших горизонтів, вони чітко оформлені. В основному, пори-камери утворені скелетними зернами, також зустрічаються міжагрегатні пори, зрідка каналоподібні, фітогенного походження з свіжими не розкладеними коренями в них.

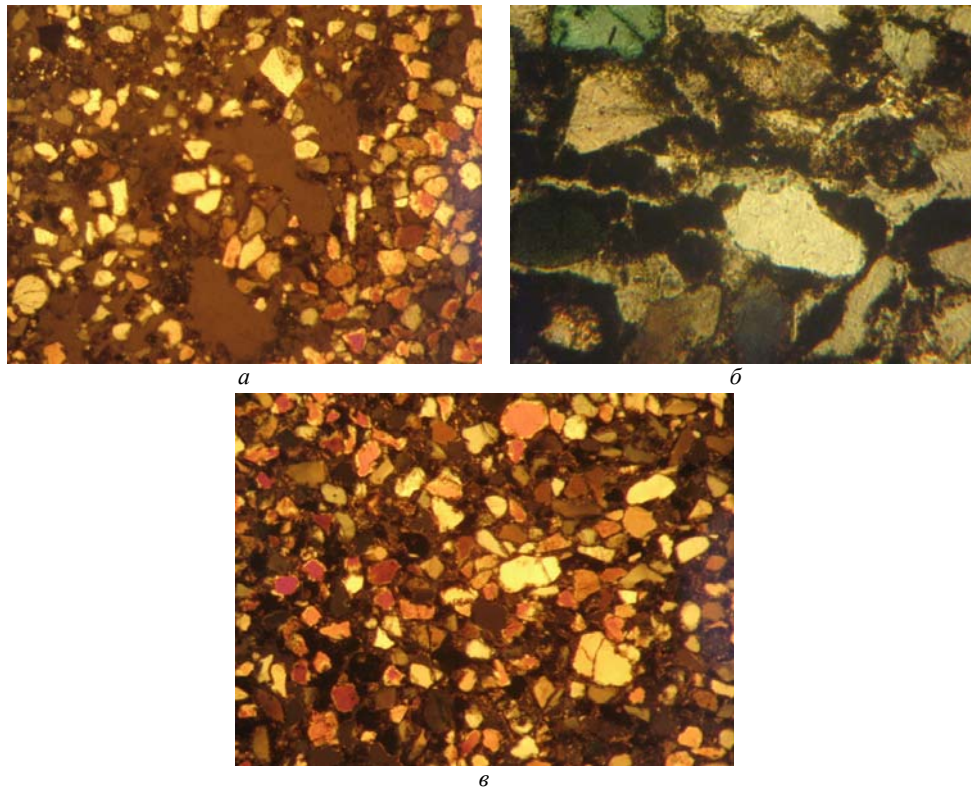


Рис. 2. Мікроморфологічні особливості ґрунтів прируслового валу:

- а – поровий простір Нр (43–74 см) X 60 нік +;
- б – гумусо-глиниста плазма Нр (43–74 см) X 80 нік ||;
- в – піщано-плазмовий мікроустрій hP (74–110 см) X 60 нік +;

Характерними мікроморфологічними особливостями ґрунтів прируслового валу р. Самари є:

- плазмово-піщана мікробудова, яка з глибиною змінюється в сторону ускладнення, що є ознакою молодих ґрунтів з «перевернутим» профілем;
- гумусо-глиниста плазма, яка розташовується в вигляді плівок по зернах мінералів та острівцями. Вниз по профілю її частка збільшується і виражається більш чітко;
- зерна скелету представлені, в основному, кварцем, епідотом, польовими шпатами розміром 0,5–0,6 мм. Більшість з характерними ознаками переносу – окатані, овальної форми, тріщинуваті;

- гумус бурого кольору, аморфний, органічна речовина добре розкладена, майже без проміжних стадій, що характерно для зволжених ґрунтів;
- поровий простір в більшості сформований порами-упаковками, в верхніх горизонтах каналопідібними, які засипані, або напівзасипані внаслідок безструктурності та легкого механічного складу ґрунту;
- мікроагрегати зоогенного походження присутні тільки в верхніх двох горизонтах, де активно діє ґрунтова мезофауна. В площині шліфа знаходяться біля рослинних залишків.

ВИСНОВКИ

Внаслідок близького розташування до р. Самара та завдяки постійному впливу повеневих процесів (змив та налив алювіальних відкладень) формуються особливі риси та характерні тільки ґрунтам прируслового валу властивості.

Головною макроморфологічною особливістю профілю є шаруватість. Насиченість темними кольорами (завдяки забарвленню гумусом) не залежить від глибини залягання горизонту. Ця шаруватість – вплив заплавності, де забарвлення може бути індикатором інтенсивності повені (чим світліший горизонт – тим більше було привнесено ілювіального матеріалу, а це, в свою чергу, може свідчити про силу водного потоку).

Характерними мікроморфологічними особливостями цих ґрунтів являється наявність піщано-плазмового мікроустрою, який з глибиною змінюється в сторону ускладнення, що є ознакою молодих ґрунтів з «перевернутим» профілем.

Зерна скелету представлені, в основному, кварцем, епідотом, розміром 0,5–0,6 мм. Більшість з характерними ознаками переносу – окатані, овальної форми, тріщинуваті.

Гумус бурого кольору, аморфний, органічна речовина добре розкладена, майже без проміжних стадій, що характерно для зволжених ґрунтів.

Поровий простір в більшості сформований порами-упаковками, в верхніх горизонтах зустрічаються каналопідібні пори, які засипані або напівзасипані внаслідок безструктурності та легкого механічного складу ґрунту.

Мікроагрегати зоогенного походження присутні тільки в верхніх горизонтах, де активно діє ґрунтова мезофауна.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Белова Н. А.** Микроморфология пойменно-лесных почв Присамарского мониторинга / Н. А. Белова, В. Н. Яковенко // Вопросы степного лесоведения и рекультивации земель. – Д. : ДГУ, 1997. – С. 45-56.
- Белова Н. А.** Экология, микроморфология, антропогенез лесных почв степной зоны Украины / Н. А. Белова. – Д. : ДГУ, 1997. – 264 с.
- Бельгард А. Л.** Степное лесоведение / А. Л. Бельгард. – М. : Лесн. пром-сть, 1971. – 336 с.
- Бельгард А. Л.** Лесная растительность юго-востока УССР / А. Л. Бельгард. – К. : КГУ, 1950. – 264 с.
- Мочалова Э. Ф.** Изготовление шлифов из почв с ненарушенным строением / Э. Ф. Мочалова // Почвоведение. – 1956. – № 10. – С. 98-100.
- Парфенова Е. И.** Руководство к микроморфологическим исследованиям в почвоведении / Е. И. Парфенова, Е. А. Ярилова. – М. : Наука, 1977. – 197 с.
- Травлев А. П.** Вопросы генезиса и свойств почв лесных биогеоценозов Присамарья / А. П. Травлев // Вопросы степного лесоведения. – Д. : ДГУ, 1972. – Вып. 2. – С. 8-12.
- Травлев А. П.** Значение микроморфологического метода при исследовании почвы как компонента биогеоценоза / А. П. Травлев // Биогеоценологические особенности лесов Присамарья и их охрана. – Д. : ДГУ, 1981. – С. 11-14.

Рекомендує до друку
Н. А. Білова

Надійшла до редколегії 12.04.12

ҐРУНТИ ТЕХНОГЕННИХ ЛАНДШАФТІВ

УДК 631.618

І. Х. Узбек, Т. І. Галаган

ОСОБЛИВОСТІ ҐРУНТОУТВОРЕННЯ В УМОВАХ ТЕХНОЗЕМІВ СТЕПОВОГО ПРИДНІПРОВ'Я

Дніпропетровський державний аграрний університет

Показано, що в умовах кар'єрного середовища формування мікробо-рослинних асоціацій провокується аборигенними штамми мікроорганізмів та насінням рослин. З часом це призводить до концентрації біогеоценотичної маси в орному шарі едафотопів і утворенню первинних консорцій, між якими і здійснюється безперервний обмін органо-мінеральними сполуками і енергією. Це і є першопричиною початку ґрунтоутворення з поверхні едафотопів.

Ключові слова: техногенний ландшафт, едафотоп, мікроорганізми, корені, ферменти, консорції.

И. Х. Узбек, Т. И. Галаган

Днепропетровский государственный аграрный университет

ОСОБЕННОСТИ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ В УСЛОВИЯХ ТЕХНОЗЕМОВ СТЕПНОГО ПРИДНЕПРОВЬЯ

Показано, что в условиях карьерной среды формирование микробо-растительных ассоциаций провоцируется аборигенными штаммами микроорганизмов и семенами растений. Со временем это приводит к концентрации биогеоценотической массы в пахотном слое эдафотопов и созданию первичных консорций, между которыми осуществляется непрерывный обмен органо-минеральными соединениями и энергией. Это и является первопричиной начала почвообразования с поверхности эдафотопов.

Ключевые слова: техногенный ландшафт, эдафотоп, микроорганизмы, корни, ферменты, консорции.

I. Kh. Uzbek, T. I. Galagan

Dnipropetrovsk State Agrarian University

PECULIARITIES OF TECHNOZEM SOIL FORMATION IN THE CONDITIONS OF PRIDNEPROVIE STEPPE

The article presents evidence that in the quarry conditions establishing of microbial-plant associations is provoked by the aboriginal microorganisms' strains and plants seed. With the lapse of time it causes biomass concentration in the plowed layer and initial consortium establishing. Permanent energy and organic-mineral compounds exchange is taking place in such consortiums. This process is acting as a prime cause of the soil forming process from surface of the edaphotopes.

Key words: technogenic landscape, edaphotops, microorganisms, roots, enzymes, consortiums.

Як відомо, можливість функціонування культурної рослинності зумовлюється наявністю в ґрунті найрізноманітніших властивостей і явищ. Ця аксіома має свої специфічні особливості коли культурні рослини виростають в умовах техноекосистем,

де кожний окремий едафотоп, навіть кожний шар цього едафотопу, має свої, тільки йому властиві, фізико-хімічні та фізико-механічні характеристики. Саме вони і відіграють вирішальну роль при цілеспрямованому освоєнні порушених земель у сільськогосподарському виробництві.

Маючи на увазі, насамперед, фізико-хімічні властивості едафотопу, треба, обов'язково, враховувати і наявність в ньому певної кількості усіх потрібних для культурної рослинності поживних речовин. Причому, вони мають бути в таких формах з'єднань, котрі були б доступними для цієї рослинності. До того ж, у едафотопі, придатних для сільськогосподарського виробництва, не повинно бути сполук, що шкідливо впливають на розвиток кореневих систем. По загальній сукупності своїх фізико-хімічних властивостей едафотоп повинен мати якнайкращі умови теплового, повітряного, водного та поживного режимів.

І, нарешті, суттєвим фактором у житті культурної рослинності в умовах техногенних ландшафтів є ґрунтова мікрофлора, яка разом із представниками мезофауни зумовлюють своєю життєдіяльністю наявність та інтенсивність проходження в товщі едафотопів біологічних процесів, тісно пов'язаних із ґрунтоутворенням. Відсутність у едафотопі мікроорганізмів, або ослаблений і пригноблений їхній стан, може взагалі виключити саму можливість розвитку рослинності на такому едафотопі.

Отже, те, що ми називаємо словом родючість в умовах техногенних ландшафтів, є, при більш докладному розгляді, дуже складною рівнодіючою досить складних і різноманітних властивостей едафотопу і тих явищ, що в ньому відбуваються.

У вітчизняній і зарубіжній літературі досліджень з цього питання практично немає, хоча вивчення явищ та процесів, що відбуваються в товщі едафотопів та сприяють відтворенню їх родючості мають виняткове значення. Перш за все – для вирішення низки практичних питань, пов'язаних з цілеспрямованою меліорацією рекультивованих земель та їхнього подальшого використання у відповідних галузях виробництва.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктами наших досліджень були третинні і четвертинні відкладення відвалів Орджонікідзевського гірничозбагачувального, Вільногірського гірничометалургійного, Камиш-Бурунського і Криворізького залізрудних комбінатів та відвали шахт виробничого об'єднання «Павлоградвугілля». За контроль прийняті зональні природні біогеоценози.

Як тести на вивчення особливостей ґрунтоутворення в умовах рекультивованих земель випробувались 23 види вищих культурних рослин. Особлива увага приділялася люцерні та еспарцету, як найбільш пристосованим до екстремальних умов техногенного середовища.

Досліди були крупноділяночними, закладеними методами, що враховують неоднорідність ґрунтового покриву (Агрохимические методы..., 1965). Для аналізу зразків порід і ґрунтів використовувалися апробовані, загальноприйняті фізико-хімічні, мікробіологічні та біохімічні методи аналізу (Агрохимические методы..., 1965; Бабьева, 1971; Хазиев, 1982). З метою підвищення об'єктивності результатів проводили змішування зразків однойменних шарів із п'яти розрізів однотипових едафотопів.

Отримані дані досліджень піддавали математичній обробці, результати якої дозволяють вважати їх вірогідними (Доспехов, 1973).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

У другій половині XIX століття В. В. Докучаєв (1936), П. А. Костичев (1937), В. І. Вернадський (1919) та інші вчені визначили й обґрунтували фактори, під постійним взаємовпливом яких формується особливе тіло природи – ґрунт. Найхарактернішою рисою цього процесу є міграція речовин та енергії, поява і взаємодія яких залежить від місцевих абіотичних і біотичних факторів.

Насамперед треба сказати, що в усіх зразках гірських порід, відібраних безпосередньо з борту кар'єру, мікроорганізми відсутні. Причому, у будь-який час року. Після виносу порід на денну поверхню відразу починається їх зараження клітинами мікроорганізмів і насінням рослин з навколишнього середовища. Найінтенсивніше цей процес проходить навесні і восени, коли збільшуються обсяги сільськогосподарських робіт на сусідніх ґрунтах, що здавна обробляються.

Якщо у зразках з борту кар'єру мікроорганізми відсутні, то вже через 7 років після їхнього перебування на денній поверхні у шарі 0–20 см в травні–червні їх кількість наближалась до рівня надлишкового пула і складала від 21 млн в лесоподібному суглинкові, до 367 млн на 1 г абсолютно сухої наважки у насипному родючому шарі чорноземної маси. Наприклад, біомаса тільки олігонітрофілів в ризосфері люцерни становила тільки в цьому 20-сантиметровому шарі лесоподібного суглинку 229 кг, а у сіро-зеленої глини – 421 кг/га. Ця доволі значна мікробіологічна маса залишається в ґрунті і слугує джерелом живлення наступним поколінням біоценозів.

На це показують і геоботанічні дослідження, що тривалий час проводилися на різновікових відвалах кар'єрів степового Придніпров'я. Наприклад, через ті ж самі 7 років на різних за фізико-хімічним складом відвалах вже сформувалися складні мікроугруповання рослинності з чітко вираженою ярусністю та іншими признаками складного фітоценозу, в якому переважають представники бобової рослинності.

Екстремальні умови техногенних ландшафтів змушують мікроорганізми і рослини проявляти всі свої біологічні і генетичні можливості для створення замкнених циклів біофільних елементів. Ця обставина особливо стосується бобових рослин, які в умовах техногенних ландшафтів можуть накопичувати значну кількість органічної маси. Так, люцерна на сіро-зеленій глині (без добрив) забезпечувала одержання врожаю сіна в середньому за 4 роки понад 43 ц/га (при 16 % вологості), а на варіантах з внесенням органо-мінеральних сумішей (гній 12,5 т/га + $N_{40}P_{40}K_{40}$) урожай сіна перевищував 51 ц/га.

До цього слід додати, що в шарі 0–40 см зосереджується від 74 до 87 % коренів. Отже, в орному шарі кожного гектару рекультивованих земель еспарцет накопичував 30–60 ц коренів (повітряно-суха маса), а люцерна – у 1,5–2 рази більше – понад 84 ц. Можна представити той величезний обсяг роботи, який виконують корені, що входять в тісний контакт із частками твердої фази, поступово перетворюючи їх у біологічно діяльні осередки. Вже через 12 місяців ця маса коренів розкладається на 80 %. Цей процес супроводжується накопиченням, наприклад, у шарі 0–20 см у середньому 350 кг/га азоту, 45 кг фосфору, 110 кг калію і 290 кг/га кальцію (Узбек, 2003).

Підвищується і рівень ферментативної активності. Причому, спрямованість біохімічних процесів у товщі едафотопів відбувається так само, як у зональному чорноземі: превалюють реакції гідролізу органічних сполук. Синтез гумусових речовин здійснюється повільно.

Цьому сприяє та обставина, що бобові рослини ростуть і розвиваються у тісному контакті з мікрофлорою, яка рясно населяє поверхню їх кореневих систем. Здатність мікроорганізмів жити на поверхні коренів, не проникаючи в їхні тканини і харчуватися виділеннями цих же коренів, а головне, оліготрофність, є основними факторами для виникнення у ґрунті консортивних зв'язків.

На рекультивованих землях формуються первинні консорції, де в якості детермінанта, тобто основного ядра, є самостійно існуюча автотрофна рослинність. Первинні консорції з автотрофними детермінантами безпосередньо беруть участь у зародженні нового ґрунтоутвірному процесу, що призводить до створення біогеоценотичних горизонтів.

Численні консортивні зв'язки в зоні кореневих систем, наприклад, бобових, сприяють нормальному розвитку рослин, накопиченню великої кількості загальної фітомаси та інтенсивній біологізації едафотопів. В основі всіх цих явищ лежить вплив консортивів один на одного, коли роль кожного організму по відношенню до іншого є істотним фактором навколишнього середовища, що віддзеркалюється в загальному процесі його

перетворення. Тому в товщі техногенних ландшафтів установлюється безліч різноманітних консортивних зв'язків, характер яких визначається біологічними особливостями автотрофного детермінанта і екологічними можливостями едафотопу.

Однак найважливіша роль консорцій полягає в тому, що вони сприяють утворенню в товщі едафотопів біогеоценотичних горизонтів, які є складовими частинами біогеоценозів. Між біогеоценозами установлюються взаємозв'язки по обміну живими організмами, енергією, органічними і мінеральними сполуками і т.д. Величезна розмаїтість цих взаємодій і взаємозв'язків в товщі едафотопів пояснюється, насамперед, гетерогенністю маси едафотопу. Навіть невеликий його обсяг може бути складеним різними за фізико-хімічними властивостями породами. Проте, в цій неоднорідній товщі установлюються радіальні і латеральні напрямлення (Бялович, 1960), за якими здійснюється речовинний і енергетичний зв'язок між окремими біогеоценотичними горизонтами.

На рекультивованих землях особливо велике значення мають радіалі в шарі 0–40 см. Саме в цій товщі, де концентруються коріння рослин, мікроорганізми і їхні метаболіти, по косним і речовинним радіалям іде безперервний обмін речовин і енергії. Причому радіалі концентрують свою біогеоценотичну масу у поверхневому шарі едафотопу. Це і є першопричиною початку ґрунтоутворення з поверхні, де міжбіогеоценозна міграція речовин особливо прогресує, бо пов'язана з рухом води, елементів живлення і повітря.

Пізнання консортивних зв'язків, які виникають в товщі едафотопів, є основою спрямованого формування довгострокових культурфітоценозів на рекультивованих землях. Тому важливим фактором при здійсненні біологічного етапу рекультивації є підбір рослин, що відрізняються швидким пристосуванням до техногенного середовища та високими ґрунтополіпшуючими властивостями.

В цьому розумінні велике значення мають багаторічні бобові трави, корені яких густою мережею переплітають верхній шар едафотопів та із часом насичують його елементами живлення, тобто елементами, властивими родючості.

У техногенних екосистемах підвищення родючості едафотопів, отже і продуктивності культурфітоценозів, може бути досягнута виробничою діяльністю людини. Його основна роль полягає у внесенні розрахункових норм органічних і мінеральних добрив. Хоча це і пов'язано із додатковими витратами, користь від цих витрат велика. Насамперед, це поліпшення санітарно-гігієнічних умов довкілля. Як показала практика, внесення добрив сприяє формуванню травостою, ліквідує дефляцію, створює сприятливе середовище для виростання культурфітоценозів, тобто для подальшого використання порушених земель на благо людей. До того ж цей прийом впливає на всі компоненти екосистеми, що характеризують рівень родючості едафотопу.

З економіко-екологічної точки зору продуктивність культурфітоценозів на рекультивованих ділянках треба визначати, виходячи із цілого комплексу конкретних екологічних умов едафотопів, біологічних властивостей рослин, культури землеробства тощо. Впливаючи на регульовані фактори, які визначають продуктивність культурфітоценозів, можна значно підвищити їхню продуктивність, зменшити строк окупності витрат, звести нанівець негативну дію порушених і досі не рекультивованих земель.

Якщо виробничу діяльність людини спрямовувати на підвищення рівня родючості едафотопів, продуктивність культурфітоценозів буде зростати. При цьому питома окупність кожної одиниці матеріального ресурсу формування урожаю буде знижуватися.

Сучасне науково обґрунтоване ведення землеробства на рекультивованих землях – яскравий приклад цьому, оскільки урожайність культурфітоценозів підвищується із застосуванням додаткових грошових вкладень, праці та науки. З часом, продуктивність бідних на поживні речовини кар'єрних ділянок піднімається до рівня кращих. В свою чергу, рівень родючості останніх зростає швидше, ніж родючість гір-

ших земель, бо кращій землі властива більш висока потенціальна родючість і тому додаткові вкладення окупаються швидше і з більшим економічним ефектом.

Сутність родючості едафотопів полягає в їх здатності забезпечувати рослину необхідними поживними речовинами та сприятливими умовами протягом всього вегетаційного періоду. Разом з тим родючість освоєного едафотопу залежить не тільки від його сприятливих фізико-хімічних властивостей, але і від додаткових вкладень. При систематичній і всебічній дії людини на едафотоп, він поряд з природними властивостями набуває нових і стає продуктом людської праці. Отже, родючість ґрунту – це результат взаємодії природних і економічних процесів, які відбуваються в конкретних техногенних умовах.

У зв'язку з цим фахівці розрізняють природну, штучну і економічну родючість ґрунту. Поряд з ними деякі автори широко використовують інші поняття: потенціальна, дійсна, ефективна, абсолютна, відносна, первинна, порівняльна та інші. Деякі з цих понять ототожнюються, але всі використовуються для уточнення та характеристики двох основних видів родючості – природної та економічної, пояснюють їх виникнення та ступінь використання. Остання не тільки властивість ґрунту, але і економіко-екологічна категорія. Розкрити зміст цієї категорії неможливо без аналізу інших видів родючості ґрунту.

Природна родючість – це результат тривалого ґрунтоутворного процесу, його матеріальна основа, яка під впливом факторів і умов навколишнього середовища призвела до формування даного ґрунту як природного тіла. Природна родючість визначається фізико-хімічними та біологічними властивостями під впливом кліматичних умов та часу. Вона, зокрема, виражає потенціальне багатство і характеризується сполученням природних властивостей незайманого ґрунту, які характерні лише цілиним землям. Проте, з того моменту, коли незаймана земля залучається у виробничий процес, вона стає предметом і засобом праці, а сама праця стає важливим фактором ґрунтоутворення. Тому у практиці сільськогосподарського виробництва природна родючість окремо не визначається, а віддзеркалюється в загальних результатах виробництва.

Та частина родючості, яка створюється за рахунок виробничого впливу людини в процесі цілеспрямованого відновлення порушених земель становить її штучну родючість. Вона утворюється в результаті активної діяльності людини у виді додаткових вкладень на окультурення верхнього шару відпрацьованої ділянки кар'єру. Штучна родючість на рекультивованих землях забезпечується впровадженням стратегії підвищення рівня якості едафотопів, до якої входять відповідні меліоративні заходи (скажімо, культуртехнічні і хімічні), внесення органічних і мінеральних добрив тощо.

Отже, родючість рекультивованих земель – це результат людської діяльності, яка в процесі виробництва згодом органічно поєднується з природною родючістю, тобто з родючістю нового ґрунтоутворного процесу; і невід'ємна від нього. Штучна родючість, яка формується в умовах техногенних ландшафтів, повинна постійно зростати. Але це можливо при умові науково-обґрунтованого ведення землеробства на рекультивованих землях.

Здатність використовувати корисну дію меліоративних заходів і родючість, що утворюється з часом в товщі едафотопу, тобто природну, при пануючих у суспільстві виробничих відносинах, досягнутому рівні розвитку продуктивних сил і ступені використання науки і є економічною родючістю едафотопу. Вона найбільш повно і всебічно відображає продуктивну здатність відновлених земель і передбачає збереження, ефективне використання і підвищення родючості едафотопу.

В результаті додаткових вкладень та удосконалення системи ведення землеробства на рекультивованих землях, засвоєння рослинами поживних речовин родючість поліпшується, але не тільки за рахунок їх додаткового внесення, а й за рахунок оптимізації його фізико-хімічних властивостей, поліпшення складу елементів живлення і впровадження фітомеліоративних сівозмін. Підвищення штучної родючості забезпечує можливість більш ефективного використання її природної родючості. Саме в цьому суть їх нерозривної єдності і взаємозв'язку.

Ступінь використання природної та штучної родючості едафотопів значною мірою залежить від соціально-економічних умов ведення господарства. В умовах техногенних ландшафтів виробнича діяльність людини впливає на розвиток і зміну родючості едафотопів, що віддзеркалюється у величині урожаю культурфітоценозів. Ми вважаємо (2003), що економічна родючість едафотопів техногенних ландшафтів, як сукупність природної і штучної родючості, створюється, перш за все, працею людини і не існує поза працею, оскільки її рівень залежить не тільки від нової природної родючості, але і в значній мірі від культури землеробства на землях, які не мають аналогів в природі.

Поняття «родючість ґрунту» в економічній і агрономічній літературі трактується неоднозначно: від фактора, що забезпечує продуктивність рослинності, який містить в собі запас поживних речовин до поняття, що родючість необхідно розглядати в контексті певних економічних відносин, існуючих у суспільстві.

ВИСНОВКИ

1. В жорстких умовах техногенних ландшафтів домінантними рослинами найчастіше виступають багаторічні бобові трави, корені яких разом з мікроорганізмами та ферментами утворюють опорні вузлові осередки концентрації елементів ґрунтової родючості, які і є зачатками нового ґрунтоутвірного процесу.

2. Біотичні угруповання в товщі едафотопів вступають один з одним у тісні консортивні взаємозв'язки, результатом яких є речовинний і енергетичний обмін між окремими шарами під впливом атмосферних опадів та дифузії газів.

3. На рекультивованих землях родючість формується як результат взаємодії біо-косної системи, продуктивних сил та виробничих відносин.

Це економічно-екологічне явище, яке обумовлене розвитком суспільного виробництва, характером і формою привласнення продукту землі та рівнем суспільного відношення до відновленої землі – як важливого засобу сільськогосподарського або лісового виробництва.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Агрохимические методы** исследования почв. – М. : Наука, 1965. – 436 с.
- Бабьева И. П.** Практическое руководство по биологии почв / И. П. Бабьева, Н. С. Агре. – М. : Изд-во МГУ, 1971. – 140 с.
- Бяллович Ю. П.** Биогеоценотические горизонты / Ю. П. Бяллович // Сборник работ по геоботанике, ботанической географии, систематике растений и палеогеографии. Секция ботаники. – М., 1960. – Т. 3. – С. 43-60.
- Вернадский В. И.** Об участии живого вещества в создании почв / В. И. Вернадский. – М., 1919. – 123 с.
- Галаган Т. І.** Економіко-екологічні проблеми біологічної рекультиваци порушених земель / Т. І. Галаган // Вісник Сумського національного аграрного університету. – 2003. – № 3-4. – С. 208-213.
- Докучаев В. В.** Русский чернозем / В. В. Докучаев. – М., Л. : Огиз-сельхозгиз, 1936. – 529 с.
- Доспехов Б. А.** Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований / Б. А. Доспехов. – М. : Колос, 1973. – 329 с.
- Костычев П. А.** Почвы черноземной области России, их происхождение, состав и свойства / П. А. Костычев. – М., Л. : Огиз-сельхозгиз, 1937. – 239 с.
- Узбек І. Х.** Основи еколого-біологічної оцінки ноосферних ґрунтів степової зони України / І. Х. Узбек, Т. І. Галаган // Актуальні проблеми сучасного землеробства. Вид.-во ЛНАУ. – Луганськ, 2003. – С. 492-498.
- Хазиев Ф. Х.** Системно-экологический анализ ферментативной активности почв / Ф. Х. Хазиев. – М. : Наука, 1982. – 203 с.

Рекомендує до друку
А. В. Боговін

Надійшла до редколегії 18.04.12

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ВПЛИВУ АНТРОПОГЕННИХ ЧИННИКІВ НА БІОГЕОЦЕНОЗИ КРИВБАСУ

Криворізький державний педагогічний інститут

Розглянуто основні аналітичні показники ґрунту під лісовим насадженням у порівнянні з результатами, що проводились 26 років тому назад.

Ключові слова: порівняльна характеристика, антропогенні чинники, мікроморфологія, гумус, водна витяжка.

Е. Д. Ющук

Криворожский государственный педагогический институт

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ НА БИОГЕОЦЕНОЗЫ КРИВБАСА

Рассмотрены основные аналитические показатели почвы под лесным насаждением в сравнении с результатами, что проводились 26 лет назад.

Ключевые слова: сравнительная характеристика, антропогенные факторы, микроморфология, гумус, водная вытяжка.

E. D. Yuschuk

Krivoj Rog State Pedagogical Institute

COMPARATIVE ASSESSMENT OF ANTHROPOGENIC IMPACT ON KRYVBAS ECOSYSTEMS

The basic analytical indicators of forest soil have been analysed in comparison with the research data that were found 26 years ago.

Key words: comparative assessment, anthropogenic factors, micromorphology, humus, aqueous extract.

Вплив людини на рослинний і ґрунтовий покриви у світовому масштабі почався з часів розвитку людського суспільства і триває до сьогодні. На теперішній час неможливо знайти ділянку суші, де не було б слідів антропогенного впливу.

Ґрунтовий покрив Криворіжжя є найбільш уразливим серед п'яти компонентів біогеоценозу.

Інтенсивний вплив господарської діяльності людини, призводить до забруднення всього біогеоценозу техногенного ландшафту. Особливо необхідно виявити фізико-хімічні та мікроморфологічні зміни ґрунтів, що обумовлені специфікою природних чинників. Спроби створення штучних лісонасаджень Криворіжжя, які здійснювалися понад 50 років назад, принесли очікувані результати, котрі можна впроваджувати в майбутньому для оцінки ґрунтового і рослинного покривів Криворіжжя з позиції їх придатності до лісомеліоративних методів. При цьому необхідна оцінка ґрунтів і різноманіття видового складу деревних порід, що добре проявляють меліоративні властивості.

В. В. Альохін (1935) і його школа висловлюються про те, що штучні угруповання рослин не здатні до самовідновлення.

Як відомо, розділ геоботаніки, що вивчає штучні лісонасадження, використовує експериментальні методи, адже кожен об'єкт у природі створений руками людини, — це і є своєрідний експеримент у природі.

Актуальні питання штучних лісонасаджень повинні сприяти вирішенню теоретичних і практичних питань геоботаніки, екології, систематики рослин, меліорації, сільського господарства тощо. Першочергово тут слід звернути увагу на:

- динаміку штучних насаджень у степу;

- взаємовплив між штучним лісонасадженням і оточуючим середовищем (мікробіоценозом, ґрунтом, зооценозом і кліматом);
- вплив лісових насаджень, що визначається світловою структурою і віковими ступенями створеного лісу (Бельгард, 1971).

У довоєнний та післявоєнний періоди і до сьогодення лісові властивості ґрунтів вивчали В. Р. Вільямс (1947), О. Л. Бельгард (1971), Н. А. Білова (1999), С. В. Зонн (1999), А. П. Травлєєв (2008), Л. О. Карпачевський (1994, 1997) та ін.

Метою наших досліджень є продовження моніторингових досліджень макроморфологічної і мікроморфологічної будови чорноземних ґрунтів степової зони України.

ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктами досліджень були:

- 1) штучні лісові насадження Криворізького залізорудного басейну (техногенні);
- 2) лісові насадження Гуровського лісу (чиста зона).

В задачі наших досліджень входило:

1. Встановлення макро- і мікроморфологічних особливостей еталонних і деструктивних ґрунтів під лісовим насадженням.

2. Діагностика масштабів негативних чинників на лісові едафотопи Криворіжжя.

3. Вивчення фізико-хімічних властивостей лісових ґрунтів.

4. Порівняння аналітичних показників досліджень ґрунтового і рослинного покривів, котрі проводились на цих об'єктах 26 років тому з показниками 2011 року.

У 1985 році на базі Криворізького державного педагогічного інституту було проведено другу всесоюзну координаційну нараду на тему: «Охорона ґрунтів від ерозії хімічного забруднення. Рекультивация ґрунтів».

Нарада проходила в два етапи. Перший етап проходив в актовій залі педінституту.

У нараді брали участь вчені з різних регіонів бувшого Радянського Союзу. Головним доповідачем був Ковда В. А. – голова ради з проблем ґрунтознавства і меліорації АН СРСР, член-кореспондент АН СРСР, м. Москва.

Про стан роботи в області рекультивации ґрунтів доповів Добровольський Г. В. – член-кореспондент АН СРСР, м. Москва.

Про основні проблеми охорони лісових ґрунтів доповів Зонн С. В., професор, м. Москва.

З питань основних задач науково-дослідної роботи степового лісорозведення в Україні доповів професор Дніпропетровського університету Травлєєв А. П. та ін.

Другий етап – наукова екскурсія по Кривбасу на тему «Техногенні ландшафти Криворізького залізорудного басейну». Маршрут екскурсії проходив по картосхемі постійних дослідних ділянок, на яких проводилося геоботанічне вивчення рослинного і ґрунтового покривів. Почалися ці дослідження з 1974 року і продовжуються до сьогодення.

У ґрунтовому покриві переважають чорноземи звичайні. Поглинальними основами є Са і Mg. Ємкість поглинання від 20–40 мг-екв. на 100 грамів сухого ґрунту.

Цілий ряд науковців свої дослідження проводили на ґрунтах під лісовим насадженням в степу, прийшовши до висновку, що ліс покращує чорноземні ґрунти і переводить їх у ранг чорноземів «лісопокращених». Це такі науковці: С. В. Зонн (1974, 1982), А. А. Роде (1984), А. П. Травлєєв (1972, 1976), А. О. Дубіна (1977), Н. М. Цветкова (1977), Є. А. Ярилова, Є. Д. Ющук (1978), Є. Д. Ющук (1986, 1987) та ін.

Термін чорноземи «лісопокращені» вперше був впроваджений В. Г. Стадніченком (1955).

Район наших досліджень знаходиться в межах зони різнотравно-типчаково-ковилового степу. Лісові насадження і безлісі ділянки на території Криворіжжя представлені особливими ландшафтами.

В основу методологічного дослідження біогеоценологічного покриву

Криворіжжя покладено вчення В. М. Сукачова (1964). Матеріали, розміщені в статті, досліджувалися геоботанічними методами.

Хімічний аналіз ґрунту і лісової підстилки проводився в лабораторії хімії ґрунтів Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара за методикою Є. В. Аринушкіної (1970). Виготовлення прозорих мікропрепаратів проводилося за методикою Е. Ф. Мочалової (1956), опис мікропрепаратів під поляризаційним мікроскопом – за методикою Є. А. Ярилової (1958).

У польових умовах використовувалися методи, викладені в «Методике полевых геоботанических исследований» (1938).

При описі дослідних ділянок враховувався склад ботанічних видів, екологічні фактори. При вивченні ботанічних видів рослин використовувався «Визначник рослин України» (1965) та «Определитель высших растений Украины» (1967).

Еколого-морфологічний аналіз флори проводився по Шеннікову (1941).

Наші дослідження проводилися у лісовому масиві Гуровського лісу, що знаходиться за межами техногенних чинників Криворіжжя. Загальна площа лісового масиву 651 га. Цей лісовий масив знаходиться в інтервалі лісорослинних умов від СГ-1 до СГ-5 за О. Л. Бельгардом (1971), але переважають умови сухі і сухуваті. Слід відмітити, що у нижніх частинах схилів, балок і в заплавах річок Бокової, Боковеньки зростає місцями природна деревна рослинність, займаючи свіжуваті (СГ1-2), свіжі (СГ-3), сирі (СГ-4) і мокрі (СГ-5) місцезростання.

Під пологом дібров із трав'янистих видів зростає яглиця звичайна (*Aegopodium podagraria* L.), конвалія звичайна (*Convallaria maialis* L.), анемона жовтецева (*Anemone ranunculoides* L.), зірочник злаковидний (*Stellaria graminea* L.) та ін.

На дні балки великий вихід ґрунтових вод, котрі впадають в русло річечки Гнилушки, виносяться течією, а тому ґрунт в заплаві не засолений.

Особливий інтерес привертають лісові насадження в сухих і сухуватих типах лісорослинних умов. Ці насадження є основними для більшої території. Велику частину Гуровського лісництва займають різні варіанти штучних лісових насаджень. У деревному складі тут домінують чисті дубові насадження з чагарниковим підліском у віці від 5 до 76 років. Зімкненість насаджень коливається від 0,4 до 0,9.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Криворізький залізорудний басейн знаходиться в постійному оточенні техногенних чинників різних промислових об'єктів (залізорудні кар'єри, відвали, шламосховища, водовідстійники високомінералізованих шахтних вод, металургійний і коксохімічний заводи, збагачувальні комбінати залізних руд, шахти та цементний комбінат). Згадані промислові об'єкти формують особливий антропогенний ландшафт Криворізького залізорудного басейну.

У цих техногенних умовах ми почали (1985) проводити аналітичні дослідження біогеоценозів Криворіжжя. Результати цих досліджень ми порівнюємо з результатами досліджень 2011 року.

Для порівняльної характеристики нами було взято аналітичні показники: кислотність ґрунтів, вміст гумусу та мікроморфологічна будова ґрунтів під лісовим насадженням у чистій і забрудненій зонах.

Виходячи з аналітико-хімічних досліджень лісових насаджень та ґрунтів чистих і забруднених умов степової зони України, викладені закономірності складних взаємовідносин лісових насаджень з ґрунтами Криворізького залізорудного басейну.

Взаємозв'язки фізичних, хімічних і мікроморфологічних властивостей ґрунтів з деревною рослинністю степової зони широко вивчалися С. М. Коржинським (1888), С. В. Зонном (1960), А. П. Травлєвим (1976), Н. А. Беловою (1999) та ін.

Аналізуючі матеріали переконують, що лісові насадження в умовах промислового забруднення характеризуються певними адаптаційними особливостями та стійкістю. Зростаючи в складних лісорослинних умовах, лісові культурбіогеоценози тіньової структури характеризуються потужним перетворювачем середовища, покращують степовий техногенний ландшафт і забезпечують собі стійкість та тривалість життя.

У зв'язку з цим є важливим вивчення еколого-хімічних, макро- і мікроморфологічних властивостей ґрунтового покриву.

Еталонна ділянка 12

В ґрунтах під лісовим насадженням вміст гумусу в 1985 році становив 6,0 %, в 2011 році – 8,0 % (рис. 1).

Збільшення гумусу в ґрунті на 2,0 % відбулося завдяки зміні лісорослинних умов під впливом 26-річного зростання лісу. Основні запаси гумусу знаходяться у верхньому горизонті до глибини 40 см. Кількість гумусу з глибини 80 см різко знижується зверху до низу. Органічна речовина на затічних ділянках грубодисперсна, розсіяна у вигляді дрібненьких часточок на всій глибині розрізу. Під впливом лісу ґрунти накопичують значний вміст гумусу.

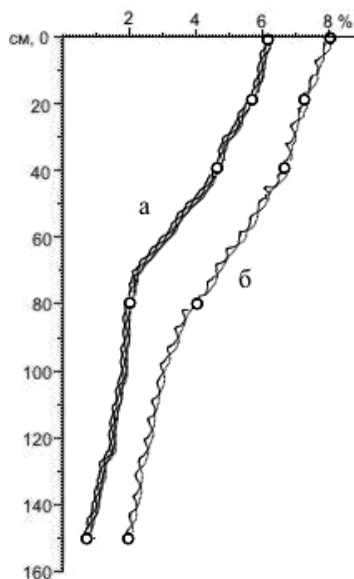


Рис. 1. Розподіл гумусу в ґрунтах ДД 12 під дубово-ясеневим насадженням:
а – 1985 р.; б – 2011 р.

Показник рН водної витяжки (таб. 1, 1985 р.) ґрунтового розрізу має слаболужну реакцію рН 7,3, знаходиться з глибини 40–150 см. З аналізу водної витяжки видно, що ґрунт ясенєво-дубових насаджень не містить надлишку кількості водно-розчинних солей. Сухий залишок витяжки має близькі показники за всіма генетичними горизонтами, але помітне збільшення його розпочинається з глибини 80–150 см і складає 0,057–0,090 %.

Таблиця 1

Показники водної витяжки дослідної ділянки 12

Еталонні дубово-ясеневі насадження (66 р.) за межами техногенних чинників
(Гуровський лісовий масив)

Горизонт	Глибина зразка, см	Сухий залишок, %	рН Н ₂ О	Горизонт	Глибина зразка, см	Сухий залишок, %	рН Н ₂ О
1985 рік				2011 рік			
Н ₁	0–10	0,065	7,0	Н ₁	0–10	0,060	6,2
Н ₂	10–40	0,057	7,2	Н ₂	10–40	0,055	6,5
Нрк	40–80	0,077	7,3	Нрк	40–80	0,075	6,7
Рк	80–150	0,090	7,3	Рк	80–150	0,085	7,0

Із таблиці видно, що водна витяжка має нейтральний або слаболужний показник середовища. Аналітичний показник водної витяжки вказує на відсутність засолення ґрунту.

Значна відмінність показників на ділянці 12 у 2011 році. Показник рН зменшений на усіх генетичних горизонтах і знаходиться у підкисленому стані у верхньому горизонті, 0–10 см, рН 6,2, у нижньому, 80–150 см, становить нейтральний показник рН 7,0.

Сухий залишок водної витяжки має зменшені показники по усіх горизонтах у низхідному напрямку і становить на горизонті 0–10 см 0,060 % і поступово збільшуючись у горизонті 80–150 см до 0,085 %.

Аналіз водної витяжки вказує на зменшення сухого залишку у чистій зоні (2011 рік) за рахунок пониження показника кислотності, тобто, з пониженням показника кислотності по генетичним горизонтам зменшуються відсотки сухого залишку (табл. 1).

Основні морфологічні ознаки ґрунту ДД 12

На ґрунтових розрізах вивчали глибину скипання від дії 10% HCl (рис. 2), глибину залягання білозірців та кротовин.

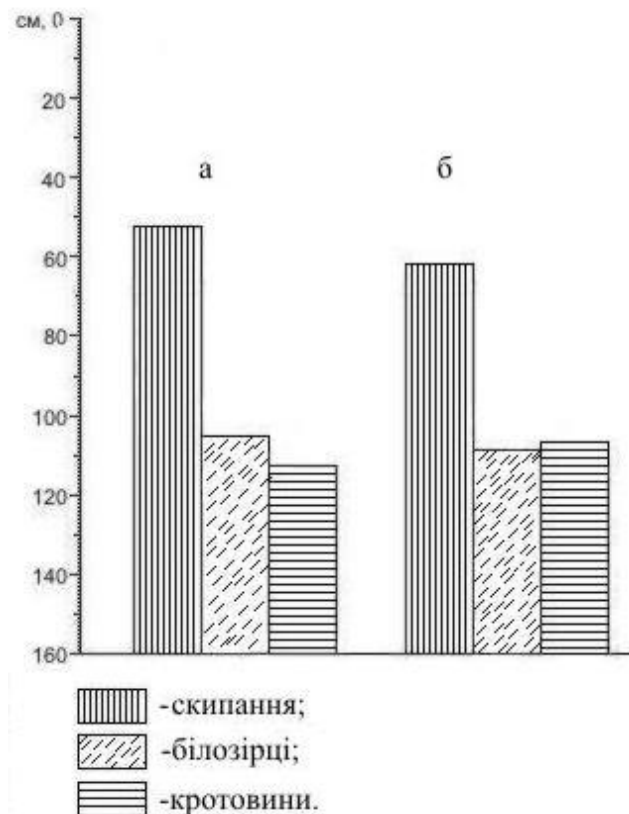


Рис. 2. Порівняльні морфологічні показники ґрунту ДД 12 під дубово-ясеневим насадженням: а – 1985 р., б – 2011 р.

Мікроморфологічна характеристика ґрунту розрізу 12

Мікроморфологічні показники ґрунту в 1985 році

Ґрунтова товща агрегована повністю. Мікроагрегати правильної і округлої форми. Плазма карбонатно-глиниста, з великою кількістю тріщин, у котрих знаходяться зерна мінералів. Мікрозернистий кальцит розміщений рівномірно. На окремих ділянках великі скупчення кальциту біля порового простору, покриті натічним полінітом.

Часто зустрічаються щільні згустки окису заліза і глинисті ооїди марганцю. Мінеральна частина ґрунту розподілена по горизонтах рівномірно. В карбонатно-

глинистий плазмі містяться включення залізистих і глинистих ооїдів, що свідчить про відновно-окисні процеси.

Мікроморфологічні показники ґрунту 2011 року

Особливих змін в мікроструктурі ґрунту не відмічається за винятком агрегатного складу та мікропористості від поверхні 0–10 см і до глибини 80 см. Структуроутворення та пористості формуються за допомогою кореневих систем деревних, чагарникових та трав'янистих рослин.

Техногенна ділянка ДД 101

Ділянка знаходиться в зоні негативного впливу промислових об'єктів Криворіжжя.

Загальна площа лісових насаджень на Криворіжжі становить біля 2500 га. Вони зростають за О. Л. Бельгардом (1971) в умовах екоотопів від СГ-1 до СГ-5 з перевагою сухих і сухуватих позицій. На окремих ділянках по низинних місцях балок, заплавах річок (Інгулець, Саксагань, Жовта), а також на берегах Карачунівського водосховища фрагментарно знаходяться природні деревні рослини, займаючи свіжуваті (СГ1-2), свіжі (СГ-3), сирі (СГ-4), мокрі (СГ-5) місцезростання. Це тополівники, вербняки та ін.

У лісових насадженнях Криворіжжя переважають чисто дубові насадження з чагарниковим підліском або без нього. Підбір порід деревних насаджень відбувався з високою стійкістю їх до місцевих едафотопів.

У нижньому горизонті лісової підстилки і в перегнійно-аккумулятивному горизонті ґрунту зустрічаються дощові хробаки, мурахи, багатоніжки і землерії.

Для порівняльної характеристики нами вибрані біогеоценози Криворіжжя і аналогічні їм за межами техногенних чинників.

Показник рН водної витяжки (таб. 2, 1985 р.) ґрунтового розрізу має слаболужну реакцію (рН 7,3), знаходиться в поверхневому горизонті, 0–10 см, і поступово лужність зростає. Починаючи з глибини 10–40 см, показник рН дорівнює 7,5, а на глибині 80–150 см він становить 7,7.

Сухий залишок водної витяжки має вищий показник у поверхневому горизонті (0–10 см) – 0,150 %. Найнижчий відсоток знаходиться на глибині 40–80 см і становить 0,098 %.

Із таблиці видно, що водна витяжка має слаболужну реакцію. Аналітичні показники на ділянці 101 у 2011 році. Показник рН 8,5 утримується з поверхні 0–40 см і зменшується кислотність з глибини 80–150 см показником рН 8,0–8,2.

Сухий залишок водної витяжки має збільшені показники за усіма генетичними горизонтами по низхідному напрямку і становить найвищий відсоток (0–10 см) – 0,161 % і найнижчий на глибині 40–80 см – 0,013 %.

В результаті дослідження вмісту гумусу виявлено його збільшений вміст в ґрунтах в 2011 році порівняно з 1985 роком (рис. 3).

Аналіз водної витяжки вказує на збільшення сухого залишку у забрудненій зоні (2011 р.) Криворіжжя за рахунок підвищення показника рН до 8,5 (таб. 2).

Таблиця 2

Показники водної витяжки дослідної ділянки 101

Дубово-ясеневі насадження (66 р.) в оточенні цементного, коксохімічного і металургійного заводів (Криворізьке лісництво)

Горизонт	Глибина зразка, см	Сухий залишок, %	рН Н ₂ О	Горизонт	Глибина зразка, см	Сухий залишок, %	рН Н ₂ О
1985 рік				2011 рік			
Н1	0–10	0,150	7,3	Н1	0–10	0,161	8,5
Н2	10–40	0,118	7,5	Н2	10–40	0,122	8,5
Нр	40–80	0,098	7,6	Нр	40–80	0,013	8,0
Рк	80–150	0,133	7,7	Рк	80–150	0,140	8,2

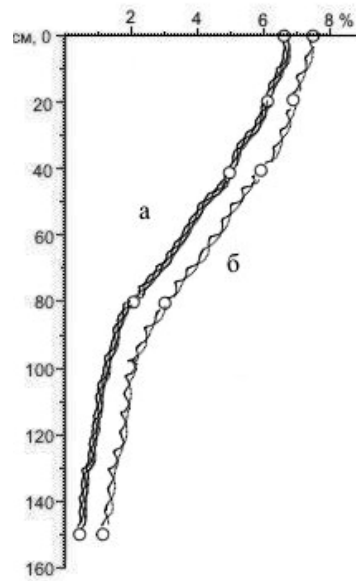


Рис. 3. Розподіл гумусу в ґрунтах ДД 101 під дубово-ясеневим насадженням:
а – 1985 р.; б – 2011 р.

На рис. 4 наведено порівняльну характеристику морфологічних ознак ґрунту ДД 101.

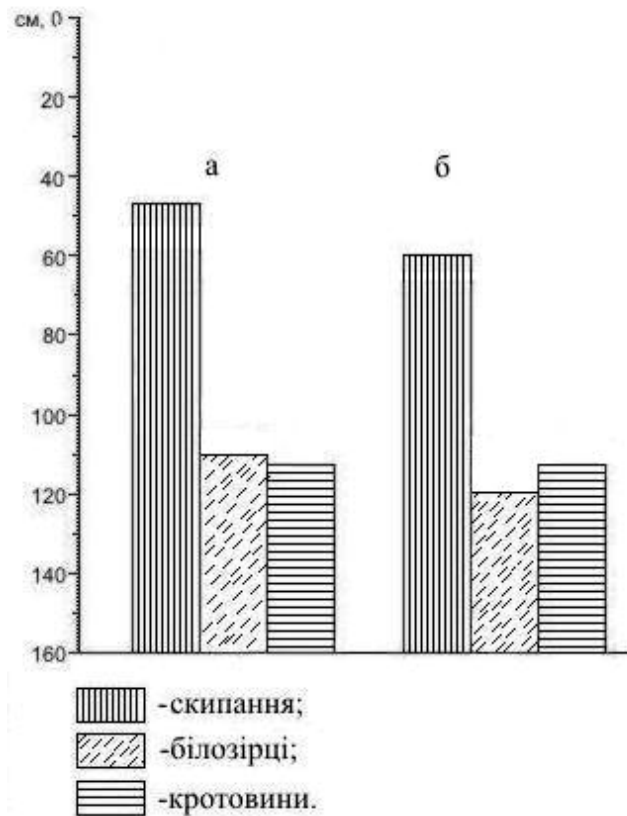


Рис. 4. Порівняльні морфологічні ознаки ґрунту ДД 101 під дубово-ясеневим насадженням:
а – 1985 р.; б – 2011 р.

Мікроморфологічна характеристика ґрунту під дубово-ясеневим насадженням ДД 101

Ґрунтова товща з 0–40 см добре оструктурена макро- і мікроагрегатами різних форм.

Тонко-дисперсна плазма тріщинувата, глинистої основи із вмістом мінеральних зерен різних розмірів.

Мікрозернистий кальцит знаходиться нижче 80 см, а в материнській породі із глибини 120 см великі скупчення, на окремих ділянках у порах він голковидної форми.

На шліфах з глибини 40–80 см зустрічаються згустки ґрунту в основі дрібнозему у вигляді ооїдів та марганцевих скупчень.

Карбонатно-глиниста плазма містить залізисті та марганцеві ооїди з глибини 60–120 см, що дає підставу думати про хід відновно-окисних процесів.

Елементарна мікробудова – плазменнопиловата, знаходиться у доброму контакті з ґрунтовою товщею.

Кварц складає основу мінерального скелету, на поверхні зерен його помітні сліди термічного вивітрювання. Як відомо, кварц хімічному вивітрюванню не підлягає.

Добре помітно високу активність мезофауни, починаючи з нижнього горизонту лісової підстилки і до глибини 60 см.

Слід відмітити високу активність полиніту, який зустрічається в ґрунтовому розрізі у вигляді прозорих та темних пльовок.

Важливим є стан натічної глини по відношенню до порового простору ґрунтових тріщин та корневих ходів деревних порід. Головною ознакою натічної глини є затікання її в замкнутих та розгалужених порах, а також по корневих ходах відмерлих деревних коренів.

На завершення слід відмітити, що досліджений ґрунт має як загальні, так і специфічні ознаки мікроморфологічної будови. Натічні глини у вигляді тоненьких пльовок тісно пов'язані з процесом лесіважу.

Порівняльна характеристика лісових насаджень і ґрунтів в еталонних і техногенних умовах знаходжень

Отримані матеріали переконують, що лісові біогеоценози в умовах промислового забруднення, не дивлячись на їх деструктивні ознаки (порівняно з еталонними), характеризуються певною адаптаційною особливістю і стійкістю. Зростаючи в складних лісорослинних умовах, деревні породи мають потужний середовищеперетворюючий ефект, покращують степові умови та техногенне середовище і саморегулюють свою стійкість і довговічність.

У зв'язку з цим є важливим вивчення хімічних, макро- і мікроморфологічних властивостей ґрунтів.

В еталонних умовах під лісовим фітоценозом (ДД 12) вміст гумусу складає 6 % у 1985 році і 8 % у 2011 році (рис. 1, а, б). Із приведених показників випливає, що кількість органічної речовини під лісом впродовж 26 років збільшилася (рис. 1, б). На рисунку криві лінії ілюструють розподіл гумусу в ґрунтах під ясенево-дубовим насадженням.

Показник рН водної витяжки ґрунтів в умовах промислового забруднення характеризується у підвищенні лужності в ґрунтах під лісовим насадженням (ДД 101), максимальний показник рН 7,7 на глибині 80–150 см (1985 р.) і максимальний показник рН 8,5 на глибині 0–80 см (2011 р.).

Білозірці в ґрунтах під лісовим насадженням в техногенних умовах (ДД 101) знаходяться на глибині 110–120 см (рис. 4).

Водорозчинні солі (вміст сухого залишку) еталонних ґрунтів під лісом (ДД 12) від 0,057 до 0,090 % у 1985 році і від 0,055 до 0,085 % у 2011 році (табл. 1).

В техногенних умовах вміст сухого залишку для лісових ґрунтів (ДД 101) коливається від 0,098–0,118 % у 1985 році і від 0,013–0,161 % у 2011 році (табл. 2).

Слід відмітити, що на усіх дослідних ділянках досліджені ґрунти не містять надлишкової кількості водорозчинних солей. За мікроморфологічною будовою ґрунтових розрізів відмічені такі відмінності (табл. 3).

**Порівняльна характеристика мікроморфології ґрунтів під лісом
в еталонних і техногенних умовах Криворіжжя**

№ п/п	Ознаки ґрунту	Еталонні ДД 12		Техногенні ДД 101	
		1985 р.	2011 р.	1985 р.	2011 р.
1	Стан ґрунту	Агрегований	Повністю агрегований	Менш агрегований	Повністю агрегований
2	Плазма	Карбонатно-глиниста з тріщинами	Карбонатно-глиниста без тріщин	Глиниста, тріщинувата	Глиниста, пронизана мікропорами
3	Мікрозернистий кальцит	Рівномірний з глибини 100 см	В порах і тріщинах 150 см	На глибині 120 см, скупчений	На глибині 150 см, розсіяний
4	Згустки ґрунту	Окису заліза, ооїди	Марганцеві скупчення розміром до 0,5 см	Окремі ділянки розмірами понад 1,5 см	Окремі ділянки пронизані мікропорами у вигляді складної сітки
5	Відновно-окисні процеси	Виражені	Добре виражені	Загальмовані	Слабовиражені
6	Елементарна мікробудова	Плазменно-пилувата	Плазменно-пилувата	Пилувато-плазменна	Плазменно-пилувата
7	Гумус	У вигляді плівок	Нерівномірні плівки	Плівковий, різної товщини	Плівковий, преривистий
8	Форма зерен кварциту	Округлі	Округлі з гладенькою поверхнею	Округлі, вуглуваті	Вуглуваті із слідами термічного вивітрювання
9	Діяльність мезофауни	Добре помітна	Добре помітна	Помітна	Добре помітна
10	Форма полиніту	Суцільні натічні плівки	Навколо скелетних мінералів	У вигляді відривистих стрічок	Суцільні стрічки з глибини 80–150 см
11	Стан глини	Натічна у порах	Натічна по всій товщі ґрунту	Натічна у порах і кореневих ходах	Натічна по всій ґрунтовій товщі

ВИСНОВКИ

Проведені дослідження еталонних і техногенних місцезростань дубово-ясеневих насаджень виявили багато закономірностей, котрі характерні в умовах промислових чинників.

Встановлені наслідки негативної дії промислового забруднення на рослинний і ґрунтовий покриви.

Ґрунти під лісовим біогеоценозом в умовах техногенних чинників проявляють погіршений гумусний показник, кислотність та сухий залишок воднорозчинних аніонів і катіонів.

Мікроморфологічний стан ґрунту показує зміну мікроструктури, її кольору, розмірів та будови порового простору у товщі ґрунтової маси.

Стан тонкодисперсної частини ґрунту на прикладі глини, котра при міграції покриває мікроструктуру ґрунту прозорими плівками, вказує на чіткий процес лісіважу під пологом лісу.

Мікроморфологічний метод у цих випадках є актуальним і незамінним. Він дав можливість запропонувати шкалу ступеня засміченості едафотопів (табл. 3).

Отже, ґрунти під лісом, як у чистій, так і забрудненій зоні, покращують свої агрономічні якості.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- Бельгард А. Л.** Степное лесоведение / А. Л. Бельгард. – М. : Лесн. пром-сть, 1971. – 335 с.
- Белова Н. А.** Естественные леса и степные почвы / Н. А. Белова, А. П. Травлеев. – Д. : ДГУ, 1999. – С. 9-20.
- Вильямс В. Р.** Почвоведение / В. Р. Вильямс. – М. : Сельхозгиз, 1947. – 455 с.
- Зонн С. В.** Принципы и методы изучения почв при лесотипологических исследованиях / С. В. Зонн // Экология. – 1979. – № 3. – С. 35-42.
- Зонн С. В.** О некоторых проблемах взаимодействия леса и почв / С. В. Зонн // Биогеоценологические исследования степных лесов, их охрана и рациональное использование. – Д. : ДГУ, 1982. – С. 3-22.
- Карпачевский Л. О.** Экологическое почвоведение / Л. О. Карпачевский. – М. : МГУ, 1994. – 189 с.
- Карпачевский Л. О.** Динамика свойств почв / Л. О. Карпачевский. – М. : Геос, 1997. – 170 с.
- Стадниченко В. Г.** Почвы искусственных лесов степной зоны УССР / В. Г. Стадниченко // Искусственные леса степной зоны Украины. – Х. : Харьковский гос.ун-т, 1960. – С. 75-84.
- Сукачев В. Н.** Основные понятия лесной биогеоценологии / В. Н. Сукачев // Основы лесной биогеоценологии. – М. : Наука, 1964. – С. 5-49.
- Травлеев А. П.** Лес как фактор почвообразования / А. П. Травлеев, Н. А. Белова // Ґрунтознавство. – 2008. – Т. 9, № 3-4. – С. 6-26.
- Травлеев А. П.** Взаимоотношение растительности с почвами в лесных биогеоценозах степной зоны Украины / А. П. Травлеев // Лесоведение. – 1976. – № 6. – С. 21-26.
- Травлеев А. П.** Вопросы генезиса и свойств почв лесных биогеоценозов Присамарья / А. П. Травлеев // Вопросы степного лесоведения. – Д. : ДГУ, 1972. – С. 8-12.

Рекомендує до друку
Н. А. Білова

Надійшла до редколегії 12.01.12

РЕЦЕНЗІЇ

**Теории и методы физики почв / Под ред. Е. В. Шеина
и Л. О. Карпачевского. – М. : «Гриф и К», 2007. – 616 с.**

Как известно, физика почв зарождалась и развивалась в тесном содружестве с земледелием и была направлена прежде всего на разработку научного обоснования способов обработки почв, которые обеспечивают создание наилучших физических условий для прорастания семян, роста и развития сельскохозяйственных растений (Воронин, 1986).

Большой вклад в становление и развитие физики почв как одной из важной составляющей классического докучаевского почвоведения внесли М. В. Ломоносов, И. М. Комов, М. Э. Вольни, А. А. Измаильский, Н. М. Сибирцев, Г. Н. Высоцкий, П. А. Костычев, В. Р. Вильямс, Н. А. Качинский, А. А. Роде, С. А. Захаров, Н. И. Саввинов, П. В. Вершинин, И. Б. Ревут и др.

Кафедра физики и мелиорации почв на факультете почвоведения Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова была создана в 1943 г. Организатором и руководителем кафедры был выдающийся ученый, основатель советской школы физиков почв профессор Никодим Антонович Качинский.

Н. А. Качинский является автором первых фундаментальных обобщающих изданий по физике почв (1965, 1970), которые являются настольными пособиями всех специалистов в этой области современного почвоведения.

Сотрудниками кафедры физики почв А. Ф. Вадюниной и З. А. Корчагиной подготовлены обобщенные методические руководства «Методы исследования физических свойств почв», которые издавались и переиздавались в 1961, 1973 и 1986 годах.

Представленная коллективная монография под редакцией Е. В. Шеина и Л. О. Карпачевского является уникальным современным методологическим и практическим руководством по физическим свойствам почвы, в котором каждый специалист в этой области почвоведения найдет для себя много нового, полезного и интересного.

Профессор Евгений Викторович Шеин, один из основателей эколого-агрофизического направления в физике почв, ученик биолого-почвенного факультета МГУ, в настоящее время руководит работой кафедры физики и мелиорации почв.

Профессор Лев Оскарович Карпачевский пришел на кафедру из Института леса АН СССР (тогда Лаборатория лесоведения) и как ученик С. В. Зонна и последователь В. Н. Сукачева углубленно развивал на кафедре биогеоэкологический метод исследования лесных экосистем. Он возглавил работу Биогеоэкологической экспедиции, которая исследовала почвы Камчатки и Сихотэ-Алиня, Карпат и Урала. Л. О. Карпачевский является основателем направления экологического почвоведения.

Ниже кратко рассматривается структура данной работы.

В главе 1 «Изучение строения почвы как природного тела» даются понятия и положения общего почвоведения. В этой главе, в частности, представлены

рекомендации по правильному выбору места закладки почвенного разреза на местности, от чего зависит достоверность всех дальнейших исследований. Здесь также изложены классификационные принципы обозначения генетических горизонтов почвы, общая характеристика и правила описания морфологических свойств почвы – общее описание, влажность, цвет, структура, гранулометрический состав и сложение. Отдельно рассматривается микроморфология почв и особенности микроморфологических исследований в полевых условиях.

Глава 2 «Твердая фаза почвы» посвящена описанию некоторых общих положений относительно фаз почвы и их соотношения. Подробно рассматриваются особенности определений плотности почвы, в частности бурового метода. Значительное внимание уделяется методам исследования плотности твердой фазы почвы – водных и воздушных пикнометров. Также в этой главе представлены методы определения плотности агрегатов и педов. Представлен классический метод парафинирования агрегатов. Рассмотрены некоторые особенности керосинового метода определения плотности агрегатов. Следует отметить наличие в этой главе достаточно новой методики фотографического определения плотности агрегатов. В заключение второй главы приводятся некоторые шкалы оценки свойств твердой фазы почв.

В главе 3 «Гранулометрический состав почвы» представлены основные методы определения гранулометрического состава почвы, в частности методом пипетки Качинского-Робинсона-Кехля и рентгено-седиментационный метод гранулометрического анализа. Большое внимание уделяется методам обработки и представления результатов по гранулометрическому анализу. Приводятся различные классификации почв по гранулометрическому составу и их соотношения. Особо полезным является раздел, посвященный переводу названия почвы по гранулометрическому составу из отечественной классификации в зарубежные. Также в главе уделяется внимание интерпретации и представлению результатов гранулометрического анализа. Приводятся особенности математического описания кривой гранулометрического состава. Интересным заключением данной главы является описание особенностей гранулометрического состава почвы с использованием непараметрических методов.

Глава 4 «Агрегатный состав почвы» посвящена особенностям исследования одной из важнейших характеристик почвы – ее структурному состоянию. В начале главы представлена методика микроагрегатного анализа почвы, которая имеет определенные сходства с методиками определения гранулометрического состава почвы. В разделе, который относится к макроагрегатному составу почв, представлена методика выполнения ситового анализа или метода сухого просеивания. Здесь также приведены особенности оценки структуры почвы. Значительное внимание в данном разделе уделено методам оценки водоустойчивости агрегатов. Представлен широко используемый ситовой анализ в стоячей воде или метод мокрого просеивания. Также представлены особенности определения стабильности и продолжительности действия кротовых дрен в минеральных почвах по водопрочности агрегатов по методу Ф. Р. Зайделямана. Рассматривается целесообразность применения этого метода в почвах различного генезиса. В этой главе представлена общепринятая методика определения водопрочности почвенных агрегатов в стоячей воде по методу Андрианова, приводится интересная методика оценки устойчивости агрегатов с использованием нескольких жидкостей. В заключительной части главы рассматриваются особенности современных гипотез структурообразования и влияние почвенного органического вещества на физические свойства почвы. Детально анализируются свойства подстилки и ее влияние на почву. Приводится роль органической матрицы и гумусовых веществ в почве. Также рассматривается значение амфифильных свойств гумусовых веществ в структурообразовании и особенности структурной организации почвенных коллоидов.

В главе 5 «Удельная поверхность почв» рассматриваются особенности методов определения удельной поверхности почв с использованием геометрических принципов, метода Брунауэра, Эммета и Теллера (БЭТ), уравнения Фаррера и физически обоснованного уравнения сорбции паров воды почвами. Анализируются методы определения изотермы десорбции, в частности метод сорбционного равновесия. Значительное внимание авторы уделяют статическим методам измерения изотерм адсорбции чистых газов и паров. Рассматривается объемный и весовой методы измерения адсорбции, а также метод тепловой десорбции. В заключении главы рассматриваются особенности использования анализатора удельной поверхности серии Сорбтометр-М.

Глава 6 «Почвенно-гидрологические константы» посвящена методам изучения и определения основных почвенно-гидрологических констант. В начале главы анализируются методологические особенности выделения в почве различных форм воды. Значительное внимание уделено определению наименьшей влагоемкости и влажности завядания.

В главе 7 «Давление влаги в почве» приводятся методы определения полного давления влаги, которые делятся на криоскопические и гигроскопические методы. К гигроскопическим методам относятся метод гигроскопического равновесия в модификации И. И. Судницына, психометрический метод, метод «нулевого измерения влажности» образца и хроматографический метод. Значительное внимание уделяется методам определения капиллярно-сорбционного давления влаги с использованием тензиометров, капилляриметров, тензиостатов, пластинных и мембранных прессов, гипсовых блоков. Рассматриваются особенности исследования капиллярного гистерезиса основной гидрофизической характеристики, а также ее определение методом центрифугирования. В заключении главы приводится характеристика методов определения осмотического давления влаги.

Особенности методик определения фильтрации и водопроницаемости почв рассматриваются в главе 8 «Фильтрация, водопроницаемость почв». В начале главы приведена характеристика движения воды в насыщенной влагой почве. Представлены методы определения коэффициента фильтрации почвы методом малых заливаемых площадей, а также метод по скорости восстановления уровня воды в скважине в различных модификациях. Рассматриваются особенности определения вертикальной и латеральной фильтрации почв по Ханусу. Особое внимание уделяется особенностям исследования водопроницаемости и впитыванию воды в почву. Представлены сравнительные результаты экспериментальных определений и расчетов коэффициентов фильтрации и впитывания. Рассматриваются методы определения коэффициента фильтрации почвы и начальной скорости методом трубок с постоянным водным напором.

В главе 9 «Функция влагопроводности почв» приведены методики исследования способности почвы проводить ненасыщенный поток влаги, возникающий под действием градиента давления почвенной влаги. Детально рассматриваются метод капилляриметров в зондовом варианте, метод стационарных потоков, полевой метод центрифугирования и метод центрифугирования в модификации А. В. Смагина.

Глава 10 «Лизиметрический метод исследования почв» посвящена особенностям исследования почв с использованием лизиметрических установок. В начале главы дается краткое изложение истории лизиметрических исследований. Приводятся методы исследования почв с использованием насыпных и монолитических лизиметров, рассматриваются различные типы и модификации лизиметрических установок.

В главе 11 «Педотрансферный метод для оценки гидрофизических функций» дается теоретическое и практическое обоснование использования педотрансферных функций. Рассматриваются особенности работы с базами данных и общие вопросы

по входным параметрам педотрансферных функций. Значительное внимание уделено предварительной систематизации данных. Проанализированы основные типы педотрансферных функций, которые изучаются с использованием метода физически обоснованной модели, точечно-регрессионного метода и функционально-параметрического регрессионного метода. Приводятся методы построения педотрансферных функций: регрессивный метод, метод искусственных нейронных сетей, метод группового учета аргументов, использование деревьев решений.

Особенности исследования гидрохимических свойств почв рассматриваются в главе 12 «Гидрохимические свойства почв». Анализируется уравнение конвективно-диффузионного переноса, которое является основой для дальнейших экспериментов и расчетов. Приводятся особенности фильтрационного эксперимента по получению «выходной кривой» и метода определения содержания нерастворяющейся влаги в почве. Рассматриваются расчеты гидрохимических параметров почвы по выходным кривым с помощью физически обоснованных математических моделей переноса вещества и основные уравнения для расчета гидрохимических параметров почвы по данным фильтрационного эксперимента с использованием равновесных и неравновесных моделей конвективно-диффузионного переноса.

Глава 13 «Температурный режим и тепловые свойства почв» посвящена особенностям методов определения температурного режима и тепловых свойств почвы – теплоемкости, теплопроводности и температуропроводности. Рассматриваются особенности методик проведения режимных и площадных исследований, а также методики исследования потоков тепла в почве. Приведены расчетные методы определения теплоемкости и температуропроводности почв, в частности по полевым данным. Проанализировано лабораторное определение температуропроводности почвы с использованием теории регулярного режима Г. М. Кондратьева.

В главе 14 «Газовая фаза почв» рассматриваются особенности анализа содержания макрокомпонентов почвенного воздуха с помощью портативного газоанализатора, который также используется при определении дыхания почвы методом закрытых камер. Представлены лабораторные и полевые методы определения эффективного коэффициента диффузии газов в почве. Проанализирован модифицированный метод оценки поглощения газов почвой при инкубации в закрытых сосудах.

Глава 15 «Электрические свойства почв» посвящена особенностям исследования электрических свойств почв. Рассматриваются современные методики измерений электрофизических параметров почв, в частности с использованием прибора «Автоматический измеритель электрических параметров почв и растений» в лабораторных условиях, по профилю почв и в методах профилирования по поверхности почв, а также методом вертикального электрического зондирования. Представлены взаимосвязи между электрическими параметрами и особенностями почвообразования, а также между стационарными электрическими полями и элементарными почвообразовательными процессами. Анализируется профильная организация почв и их стационарные электрические поля. Значительное внимание уделено существующим взаимовлияниям между электрическими полями и свойствами почв, в частности влажности. Рассматриваются электрические параметры и свойства почв гумидной и аридной зон, а также основных зональных типов почв. Представлены модели почвенно-электрических профилей основных генетических типов почв на катенно-ландшафтном и зональном уровнях организации почвенного покрова.

Особенности физико-механических свойств почв и их исследования рассматриваются в главе 16 «Реология и физико-механические свойства почв». В начале главы излагаются основные теоретические положения реологии почв: течение вещества, напряжение и деформация; теоретические основы экспериментального определения реологических свойств почв; построение реологической кривой;

прочностные характеристики почв; механическая прочность агрегатов. Основное внимание уделяется методам исследования физико-механических свойств почв, в частности определение пределов Аттерберга, предела текучести (методами Бахтина и Васильева), предела пластичности (методами Аттерберга и Федорова), числа пластичности. Представлены методики определения сопротивления сдвигу и прочности агрегатов с использованием пластимера Ребиндра, а также методика определения прочности структуры почвы в естественном состоянии. Проанализирована связь физико-механических свойств почв (набухание, усадка, липкость и теплота смачивания) с основной гидрофизической характеристикой.

В главе 17 «Физические свойства заболоченных и болотных почв» представлены основные особенности изучения физических свойств специфических болотных почв. Рассматривается определение влажности данных почв термостатно-весовым методом. Большое внимание уделено определению плотности торфяных почв по методу Зайдельмана, Иллнера. Также характеризуются особенности определения плотности набухающих заболоченных почв. Представлен метод определения влажности устойчивого завядания растений в модификации Зайдельмана и Виноградова. Рассматриваются методы определения влагоемкости гидроморфных почв по методу Долгова и его модификации Скрынниковой, предельной полевой влагоемкости и динамической влагоемкости и водоотдачи заболоченных и болотных почв. Анализируются методы определения водоотдачи и ее коэффициента заболоченных почв методом определения водопроницаемости в условиях близкого залегания верховодки или грунтовых вод, вертикальной водопроницаемости по методу заливаемых квадратов Качинского и вертикальной водопроницаемости с помощью инфильтрометра Кировгипроводхоза.

Глава 18 «Физические свойства песчаных и каменистых почв» посвящена особенностям исследования легких и каменистых почв. Рассматриваются особенности гранулометрического состава, физических и физико-механических свойств песков, а также влияние плотности, пористости и твердости песков на развитие корневой системы растений. Представлены особенности изучения физических свойств каменистых почв по методам Зайдельмана, в частности определение плотности и расчет пористости, определение влажности, расчет запаса влаги и воздухоносной пористости.

Особенности исследования мелиорируемых почв приведены в главе 19 «Оценка мелиорируемых почв по их химическим свойствам». Рассматриваются принципы определения содержания закисного железа в грунтовых водах и качественного определения хлоридов, сульфатов и соды в водных вытяжках в полевых условиях при картировании. Анализируются особенности количественного определения степени заболоченности минеральных почв по составу ортштейнов.

В последней главе 20 «Пространственная вариабельность физических свойств почв и ГИС-технологии» представлены общие теоретические положения почвенной неоднородности и практические методики использования современных географических информационных систем (ГИС). Рассматриваются особенности проявления и уровни почвенной неоднородности, а также факторы, ее определяющие. Значительное внимание уделяется предварительному этапу работ, планированию эксперимента и полевому этапу. Анализируются особенности обработки и представления полученных результатов – контурное и в виде функциональной поверхности. Для этих целей также применяются детерминистские методы треугольной нерегулярной сети, тренда, обратных взвешенных расстояний, радиальных базисных функций. При геостатистических исследованиях пользуются гипотезами стационарности, описанием пространственной изменчивости при помощи автокорреляционных функций и семивариограмм, а также интерполяции данных методом кригинга. В окончании главы приводятся общие сведения о ГИС и особенностях их использования в почвенных исследованиях.

Данная монография создана коллективом хорошо известных ученых, которые являются лидерами в различных областях современной физики почв.

Весьма удачное структурирование глав. В первой части каждой главы излагаются важные теоретические принципы формирования и изучения физических свойств почв, во второй части приведены методики и методы исследования, которыми может воспользоваться любой специалист, работающий в области физики почв. Необходимо подчеркнуть, что в рассматриваемой работе представлены не только современные новейшие методики исследования, для использования которых в данное время не в каждом научном и исследовательском учреждении есть необходимая техническая база, но и классические методики, которые являются широко используемыми в настоящее время.

Таким образом, коллективная монография «Теории и методы физики почв» на сегодня является самым полным и самым современным методологическим и методическим изданием в области физики почв. Данная книга должна стать основой для каждого специалиста, научные интересы и задачи которого неразрывно связаны с современной физикой почв.

А. П. Травлеев,
член-корреспондент НАН Украины,
доктор биологических наук, профессор,
профессор кафедры геоботаники,
почвоведения и экологии
Днепропетровского национального
университета им. Олеса Гончара

В. А. Горбань,
кандидат биологических наук,
доцент кафедры геоботаники,
почвоведения и экологии
Днепропетровского национального
университета им. Олеса Гончара

Фельбаба-Клушина Л. М. Рослинний покрив боліт верхів'я басейну р. Тиса (Українські Карпати) та флювіальна концепція його охорони. Монографія. – Ужгород : Ліра, 2010. – 190 с.

В 2010 р. видана в світ за редакцією академіка НАН України К. М. Ситника монографія видатного дослідника Л. М. Фельбаба-Клушиної під назвою «Рослинний покрив боліт верхів'я басейну р. Тиса (Українські Карпати) та флювіальна концепція його охорони».

Добре відомо, що Українські Карпати, являються природним екокоридором між Південними та Західними Карпатами і відграють важливу функцію регулятора екологічного балансу як для України, так і для багатьох європейських країн. Незбалансоване природокористування призвело до глибоких порушень функції рослинного покриву, що проявилось природними катаклізмами у вигляді руйнівних повеней, зсувів на гірських схилах, водної ерозії ґрунтів, порушенням гідрологічного режиму басейнів рік, втратою водних ресурсів тощо. Це викликало необхідність розробки нових підходів до охорони рослинного покриву та відновлення його гідрологічних функцій.

Ріка Тиса є міжнародним водотоком і найбільшою притокою Дунаю. Саме у верхів'ях басейну цієї ріки, межі якого збігаються з адміністративними межами Закарпаття, формуються 30 % запасів водних ресурсів усього басейну. Завдяки цьому саме Закарпаття є найбагатшим на водні ресурси регіоном України. Великий рекреаційний потенціал та ключові запаси лісу підкреслюють його значущість для країни в цілому. Тому наукові розробки, що стосуються охорони рослинного покриву та відновлення його природних функцій є актуальними.

Монографія Л. М. Фельбаби-Клушиної присвячена розробці концепції охорони рослинного покриву басейнів гірських рік Український Карпат на прикладі верхів'я басейну р. Тиса.

У книзі висвітлені результати багаторічних міждисциплінарних досліджень, вдало поєднано широке коло питань з галузей гідрології, геоморфології, лісознавства, болотознавства, заповідної справи, фітоценології та синфітосозології. Такий комплексний підхід автора відповідає сучасним системним дослідженням і несе в собі високий потенціал біогеоценологічного підходу до розв'язання складних екологічних, біосферних та ноосферних проблем.

Основна ідея автора полягає у тому, що у басейнах гірських рік охорона природи і організація природокористування мають бути направлені на збереження та відновлення структури рослинного покриву, співвідношення природної рослинності усіх типів ландшафтів «гори-низовина» (особливо лісової та болотної), що забезпечить відновлення найважливішої функції лісу – регуляції гідрологічного режиму.

В структурному відношенні монографія містить п'ять основних розділів і висновки.

Перший розділ висвітлює природні умови української частини Карпатського регіону, серед яких враховуються геоморфологічні особливості будови річкових басейнів. Автором акцентовано увагу на тому, що наслідки сучасних змін клімату та антропогенних перетворень ландшафтів (меліорація, гідротехнічні споруди, вирубування лісів) нівелюють процеси утворення природних водойм, і відповідно – гідрофільної флори та рослинності.

У другому розділі проаналізовані та узагальнені причини та наслідки повеней у Карпатському регіоні. Зокрема переконливо показана роль вирубування лісу при формуванні повеней та деградації ґрунтового покриву.

У третьому розділі стисло і вичерпно надано характеристику географічного розповсюдження рослинного покриву Українських Карпат у цілому і Закарпаття зокрема, приведена їх порівняльна характеристика з аналогічними біогеоценозами Росії та Білорусії. Відмічена Всесвітня функціональна та історична цінність букових пралісів Закарпаття.

Однією з найактуальніших проблем сьогодення є руйнування ґрунтового покриву під гірськими лісами, що вирубуються, на цьому загострено увагу читачів. За допомогою лісогідрологічних показників – інтенсивність опадів, поверхневий стік, інфільтрація, показано негативний вплив лісогосподарської діяльності на гідрологічні функції гірських ґрунтів. Значне місце у цьому розділі відведено обзору наукових поглядів видатних вчених у галузі лісової гідрології – В. В. Рахманова, А. Г. Міховича, М. І. Львовича, О. В. Чубатого, Л. П. Травлєєва, В. І. Парпана, М. О. Воронкова та ін., на проблему ґрунтозахисної та гідрологічної ролі лісів у цілому в Україні і в Українських Карпат зокрема.

Висвітлена роль лісистості гірських водозборів у водоохоронних та водорегулюючих функціях лісів, а також вплив цього параметру на об'єм річкового стоку. Найважливішою та актуальною частиною цього розділу є гідрологічне районування гірських лісів Карпат, що виконане на основі аналізу геоморфологічних та мезокліматичних умов регіону. Зокрема виділено чотири гідрологічні райони, у межах яких відокремлено п'ять підрайонів. Наведені дані будуть дуже корисними при проведенні гідрологічного районування Карпатських лісів, а також прогнозуванні їхнього подальшого розвитку і розвитку екомереж в цілому.

Четвертий розділ є фундаментальним. Він складається з восьми підрозділів і містить результати власних емпіричних досліджень рослинного покриву боліт і водойм верхів'їв басейну р. Тиса.

З початку четвертого розділу наведено дуже цікавий історичний екскурс з досліджень рослинності Закарпаття у цілому і водно-болотної зокрема. Відмічено значний внесок у розвиток болотознавства таких видатних вчених як Є. М. Брадїс (розробила торфово-болотне районування України), І. М. Григор (виділив стадії розвитку лісових боліт) та ін. Відмічається внесок у охорону боліт Українського Полісся видатних українських вчених Ю. Р. Шеляг-Сосонка, Т. Л. Андрієвської, С. Ю. Поповича. Значний обсяг оглядової частини розділу присвячено вкладу іноземних дослідників у флористичні і фенологічні дослідження флори і рослинності боліт Українських Карпат. В цілому ця частина розділу являє собою вичерпний огляд флористичних досліджень і досліджень у галузі болотознавства на території Закарпаття.

Друга частина цього розділу містить всебічний і корисний огляд трансформації поглядів на поняття боліт як природного явища, а також інформацію про функціональну значимість боліт. Дуже цікавим і корисним є висновок автора про уточнення визначення поняття болото, в якому знайшли відображення особливості умов формування рослинних угруповань і процесів торфонакопичення. Ця інформація буде корисною не тільки фахівцям у галузі флористики, а й широкому колу фахівців, які працюють над гідрологічними проблемами. Крім цього наведений тут приклад вартісної оцінки боліт, а саме їх гідрологічної функції, безумовно можна пропонувати при визначенні відносин між суб'єктами природокористування.

У третій частині четвертого розділу наведено екологічний аналіз флори болотних екосистем по відношенню до умов зволоження. На основі фітосозологічного аналізу визначені 200 видів судинних рослин боліт і заболочених екотопів, які потребують охорони. Аналогічний аналіз проведено і для бріофлори Закарпаття.

Акцентовано увагу на тому, що гідрофільна флора складається переважно з гемістенотопних і стенотопних видів за відношенням до гідрологічного режиму, що

підкреслює її вразливість до змін цього екологічного фактора. Созологічний аналіз показав, що найменше 37 % видів гідрофільної флори потребують охорони. Разом з тим 56 % синтаксонів, якими представлена рослинність боліт і водойм Закарпаття, теж є рідкісними і вразливими і потребують охорони. Показано, що у межах цієї відносно невеликої території до цього часу збереглася значна різноманітність синтаксонів болотної і водної рослинності, яка представлена 11 класами і 120 асоціаціями. Разом з тим відмічено, що болотні і водні екосистеми природного походження здебільшого є лише «уламками» раніше широко представлених екосистем у цьому регіоні.

Дуже важливими є висновки про динаміку рослинності боліт і водойм регіону досліджень, при цьому підкреслено, що болотна рослинність зазнала найглибших змін поміж інших типів рослинності Закарпаття. У гірській частині регіону досліджень на оліготрофних і мезотрофних болотах спостерігається зникнення окремих оліготрофних і мезотрофних видів. Автор зазначає, що процеси фрагментації та інсуляризації болотної рослинності, спрощення ценотичної структури тощо, які спостерігаються у досліджуваному регіоні, характерні для болотних екосистем усієї Європи, а в Українських Карпатах вони знаходяться на межі їх повного перетворення в рослинність інших типів організації (лучну і лісову). Лише у верхньому лісовому поясі та у високогір'ї зберігаються процеси розвитку боліт із евтрофної стадії до оліготрофної, тоді як у нижньому лісовому поясі вони утруднені, а на низовині та в передгір'ї не спостерігаються. Наголошено, що перелік синтаксонів повітряно-водної рослинності поповнюють галофітні угруповання, що пов'язано з частим і тривалим пересиханням водойм, яке спостерігається впродовж останнього десятиріччя.

П'ятий розділ присвячений обґрунтуванню нової наукової концепції охорони рослинності у верхів'ї басейну р. Тиса. На основі досліджень рослинності екосистем з надлишковим зволоженням автор робить висновок, що їх охорону можна забезпечити лише зберігаючи чи відновивши процеси заболочення і відновлення гідрологічного режиму території.

Провівши аналіз розвитку природоохоронних концепцій, суть яких полягає у збереженні біорізноманітності, автор зробила висновок, що у верхів'ях гірських рік найголовнішим завданням є відновлення функціонального ядра рослинного покриву, що у свою чергу забезпечить збереження і відновлення усіх типів оселищ рослин і тварин.

Сформована автором концепція охорони рослинного покриву верхів'їв гірських річок, спирається на загальні особливості гірських флювіальних (басейнових) екосистем. Це безумовно є найважливішим теоретичним аспектом монографії. Суттю флювіальної концепції, що пропонується є відтворення природного розвитку екосистем водотоків, водойм, боліт і заплавних комплексів. Важливо, що для реалізації концепції автором пропонується втілення низки заходів, які б сприяли її проведенню.

Іншим важливим теоретичним аспектом цієї монографії є пропозиція щодо віднесення верхів'їв водозборів гірських рік до об'єктів вищої созологічної цінності так як на них формується основна частина запасів чистої води.

Враховуючи особливості досліджуваного регіону, його екологостабілізуючу функцію та наявність рекреаційних ресурсів, автор пропонує надати йому статус Території Особливого Екологічного режиму, де має забезпечуватися збалансоване природокористування та ефективне ресурсозбереження. Монографія Л. М. Фельбаба-Клушиної «Рослинний покрив боліт верхів'я басейну р. Тиса (Українські Карпати) та флювіальна концепція його охорони» являється прикладом ретельних досліджень, які повністю відповідають всебічному системному підходу, побудованому на біогеоценологічній основі. Монографічна праця написана на обґрунтованій науковій

та естетичній основі. Вона зразково ілюстрована прекрасними, дуже гарними фотографіями з логічно пов'язаними з переходами від однієї наукової концепції до іншої, що викликає повчальний інтерес у читача.

Монографію можна рекомендувати працівникам заповідників, як навчальний посібник для викладачів середніх спеціальних навчальних закладів, студентам, аспірантам біологічних, географічних, природознавчих факультетів університетів та інших вищих навчальних закладів, науковцям та широкому колу любителів природи, які мають інтерес до збереження, відновлення та розумного використання багатства рідної природи.

*Н. А. Білова,
доктор біологічних наук, професор,
завідувач кафедру товарознавства і експертизи
Академії митної служби України*

*О. В. Котович,
кандидат біологічних наук,
доцент кафедри геоботаніки,
грунтознавства та екології
Дніпропетровського національного
університету ім. О. Гончара*

ДО УВАГИ АВТОРІВ !

При оформленні статті до надсилання в редакцію просимо дотримуватися таких правил:

1. Надіслати на адресу редакційної колегії два екземпляри статті і дискету з текстом, таблицями та ілюстраціями.

Обсяг статті – не більше 10 сторінок машинопису (одна сторінка у форматі журналу містить до 4500 знаків, включаючи пропуски).

Обсяг ілюстрацій і таблиць не повинен перевищувати 30 % обсягу статті.

2. Усі текстові матеріали роздрукувати через 1,5 інтервала, залишаючи з кожного краю сторінки відступи 2 см, шрифт – Times New Roman 12 пунктів, абзацний відступ – 0,8 см. При наборі статті необхідно розрізняти дефіс і тире, а також застосовувати поліграфічні «ялинки». Між ініціалами та прізвищем обов'язково залишати пропуск. Текстові матеріали підготувати в редакторі MS Word 97, 2000, XP як текст у форматі RTF (*.rtf) або документ Word (*.doc). Математичні формули і рівняння готуйте в редакторі рівнянь Microsoft Equation 3.0, а хімічні – у редакторі ISIS Draw v. 2.4.

3. Використовуйте одиниці Міжнародної системи вимірювань.

4. **Назва статті** повинна коротко інформувати про її зміст і містити не більше 13 слів. Більш довгі назви скорочуються у процесі редагування. Назву статті подати трьома мовами – українською, російською та англійською.

5. **Наявність УДК** обов'язкова.

6. **Анотацію** подати трьома мовами – українською, російською, англійською. Вона повинна коротко описувати результати і головні висновки проведених досліджень.

7. **Ключові слова** можна брати з назви статті. Подати українською, російською та англійською мовами.

8. **Адресу і назву організації**, у якій виконувалися дослідження, подати українською, російською та англійською мовами, а також указати *e-mail*, телефон для оперативного зв'язку з автором.

Указати повне ім'я та по батькові кожного автора публікації українською, російською, англійською мовами.

9. Стаття повинна містити такі розділи: Вступ; Матеріали та методи досліджень; Результати та їх обговорення; Висновки; Список використаної літератури.

10. **Посилання** на літературні джерела слід подавати в напівкруглих дужках із зазначенням прізвища цитованого автора (або назви джерела, якщо авторів більш ніж три) та року видання.

11. **Подяки** подаються наприкінці статті перед списком використаної літератури.

12. **Список використаної літератури**. Слід ретельно звірити відповідність літературних джерел у тексті та у списку. Перевірте правильність усіх назв періодичних видань.

Слід наводити прізвище редактора та місце і дату проведення при цитуванні матеріалів симпозіумів і конференцій, прізвище відповідального редактора – при цитуванні видання колективу авторів.

13. **Таблиці** повинні бути пронумеровані відповідно до змісту статті. Дати назву до кожної таблиці. Статистична та інша деталізація наводяться під таблицею. Табличні матеріали підготувати у табличному редакторі Word 2000, XP.

14. **Рисунки** нумерують у порядку їх обговорення в тексті. Унизу рисунка указати його назву. Рисунки до статті повинні мати копію на дискеті. Діаграми та графіки слід виконувати у пакетах Excel, Statistica, схеми – у пакеті Visio 2000 та зберігати у форматах цих програм окремими файлами (наприклад, petrov_ris1). Найкращими для сканованих зображень є формати файлів TIFF, JPEG, EMF. Усі елементи тексту у зображеннях (графіках, діаграмах, схемах), якщо це можливо, повинні мати гарнітуру Times New Roman або Times New Roman Cyr (в окремих випадках Courier). Кожне зображення зберігайте в окремому об'єкті. Зображення після сканування при роздрукуванні повинно бути чітким, не гіршим за чіткість основного тексту.

15. При поверненні статті на доопрацювання автор зобов'язаний урахувати всі зауваження редактора і надіслати виправлені та передруковані матеріали на адресу редакційної колегії в указаний термін. Статті, повернуті після доопрацювання пізніше ніж через 3 місяці, розглядаються як нові надходження.

Подані матеріали не повертаються. Редакція зберігає за собою право виправляти та скорочувати текст, а також повертати рукопис на доопрацювання у разі недотримання наведених вище правил.

Відповідальність за зміст поданих матеріалів несуть автори.

TO AUTHORS' ATTENTION

The colleague of editors invite scientists, specialists who study all the spectrum of ecological problems that have to do with soils science for the cooperation.

The journal «Soil science» takes articles in the Ukrainian, the Russian and the English languages.

An article mustn't exceed 10 pages, including tables and pictures. Illustrations and tables together mustn't exceed 30 % of the whole volume of the article.

Selection of materials and a previous review: materials for publication should be sent to the address of the colleague of editors (it is given on the second page of each edition). Two copies of materials, a diskette with a text, materials of tables and illustrations should be sent. In addition on the diskette tables and illustrations should be located in separate files. Also a copy of the article should be sent to the e-mail: bnaitap@a-teleport.com

Working at the revision an author should take into account all the notes, retype and send all the materials to the address of the colleague of editors up to the date, noted by an editor. Articles that come after the revision later than in 3 months will be considered as new ones.

Preparation of materials: all the materials (text, references, signatures to pictures etc.) are given in 1,5 intervals. From each edge of the page 2 cm. should be left, shrift – Times New Roman 12 points.

Notes: notes in the text are not permitted.

Units: use units of measuring of International System SI.

Name of the article: name of the article should be given in three languages – Ukrainian, Russian and English. It should inform about the contest of the article briefly – maximum 13 words. Larger names will be shortened while editing.

Address and name of organization: indicate the address and the name of the organization where research was conducted (in Ukrainian, Russian and English), e-mail, fax and other information that can make the communication with the author easier.

Summary and key words: should be given in three languages – Ukrainian, Russian and English. Summary should briefly describe conducted researches, including aims, methods, results and main conclusions.

References of used literature: Check every reference in the text of the article with the list of used literature. All the names of periodicals should be checked thoroughly. The list of literature should be given without a numeration. Only the author's surname and the year of edition should be mentioned in the reference of used literature in the text of the article.

Tables: every table is prepared on a separate sheet of paper. Tables should be numerated according to their mentioning in the text. Give a brief name at the top of each table. Statistical and other detailed information is given as a note below. Don't double the contest of tables with illustrations. Among all the other equal characteristics illustrations (graphics) are preferable. Don't mention the information that wasn't discussed in the text of the article.

Illustrations: every copy of the article should contain one copy of illustrations. Number illustrations according to their order in the text. Symbols and marks should be readable. Don't use big points of shrifts and styles of decorating that give very thin elements of letters. Point at the top of the back of the illustration its number and the name of the article.

Formats of files on the diskette: texts should be prepared in the text editor MS Word 2000. Don't hyphen words. Formulas and equations should be prepared in inbuilt editors of equations and should be saved as separate files (Windows metafile, *.wmf).

Illustrations should have two copies on the diskette. Formats of files Tiff- 4.0 or 5.0 (*.tif). Paint (*.bmp), Photoshop (*.psd) are most suitable. The final form of illustrations should be minimum 250-300 points per inch. Using of specific programs (statistical packets, programs of visualization etc.) for saving graphics are not permitted.

Sent materials are not returned back.

Authors take the responsibility for the contest of the materials.