

OLES HONCHAR DNIPROPETROVSK NATIONAL UNIVERSITY
(UKRAINE)

«TELEPRESINFORM» AGENCY (UKRAINE)

WITH THE ASSISTANCE OF:

CORDOBA UNIVERSITY (SPAIN)

SCIENTIFIC COUNCIL FOR SOIL SCIENCE ISSUES
OF NAS OF UKRAINE (UKRAINE)

RESEARCH AND TRAINING CENTER OF O. HONCHAR DNU –
A. L. BELGARD PRYSAMARYA BIOSPHERIC STATION

GRUNTOZNAVSTVO

SOIL SCIENCE

ґРУНТОЗНАВСТВО

Vol. 17

no. 1–2

Scientific Journal
Founded in 2001

www.ussj.cv.ua

Kyiv – Dnipropetrovsk
2016

EDITORIAL BOARD:

A. P. Travleyev (Editor-in-Chief); *J. M. Recio Espejo* (Associate Editor); *J. G. Ray* (Associate Editor); *V. M. Petrenko* (Associate Editor); *K. M. Sytnik* (Associate Editor); *V. G. Radchenko* (Associate Editor); *V. A. Nykorych* (Associate Editor); *V. V. Morguun* (Associate Editor); *A. V. Bogovin* (Associate Editor); *V. A. Gorban* (Managing Editor); *S. A. Balyuuk*; *N. A. Bilova*; *M. K. Chartko*; *S. G. Chornyi*; *D. M. Grodzinsky*; *F. Gurbuz*; *V. I. Kanivets*; *N. R. Korpeyev*; *I. A. Mal'tseva*; *V. V. Medvedev*; *D. O. Mel'nychuk*; *L. P. Mytsyk*; *E. Nevo*; *V. V. Nykyforov*; *M. J. Opanasenko*; *V. I. Parpan*; *M. V. Polyakov*; *S. P. Poznyak*; *Yu. R. Shelyag-Sosonko*; *V. V. Shvartau*; *Gu Siyu*; *S. Skiba*; *O. O. Sozynov*; *P. C. Srivastava*; *V. S. Stogniy*; *D. G. Tikhonenko*; *N. N. Tsvetkova*; *I. Kh. Uzbek*; *N. V. Zaymenko*; *V. M. Zverkovsky*.

FOREIGN MEMBERS OF EDITORIAL BOARD:

J. G. Ray (Associate Editor); *J. M. Recio Espejo* (Associate Editor); *M. K. Chartko*; *F. Gurbuz*; *N. R. Korpeyev*; *E. Nevo*; *Gu Siyu*; *S. Skiba*; *P. C. Srivastava*.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Чл.-кор. НАНУ, д-р біол. наук **А. П. Травлєєв** (голов. редактор); акад. УЕАН, д-р біол. наук **Ж. М. Ресіо Есπεжо** (заст. голов. редактора, Іспанія); акад. УЕАН, д-р біол. наук **Д. Г. Рей** (заст. голов. редактора, Індія); акад. НАНУ, д-р біол. наук **К. М. Ситник** (заст. голов. редактора); акад. НАНУ, д-р біол. наук **В. Г. Радченко** (заст. голов. редактора); канд. біол. наук **В. А. Нікорич** (заст. голов. редактора); канд. іст. наук **В. М. Петренко** (наук. редактор); акад. НАНУ, д-р біол. наук **В. В. Морзун** (наук. редактор); д-р біол. наук **А. В. Боговін** (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**; акад. НАНУ, д-р біол. наук **Д. М. Гродзинський**; д-р біол. наук **Гу Сію** (Китай); д-р біол. наук **Ф. Гурбуз** (Туреччина); чл.-кор. НАНУ, д-р біол. наук **Н. В. Заїменко**; д-р біол. наук **В. М. Зверковський**; д-р с.-г. наук **В. І. Канівець**; акад. АН Туркменістану, д-р біол. наук **Н. Р. Корпєєв** (Туркменістан); д-р біол. наук **І. А. Мальцева**; акад. НААНУ, д-р біол. наук **В. В. Медведєв**; акад. НАНУ, д-р біол. наук **Д. О. Мельничук**; д-р біол. наук **Л. П. Мицик**; акад. НАНУ, д-р біол. наук **Е. Нево** (Ізраїль); д-р біол. наук **В. В. Нікифоров**; д-р біол. наук **М. Є. Опанасенко**; д-р біол. наук **В. І. Парпан**; д-р геогр. наук **С. П. Позняк**; чл.-кор. НАНУ, д-р фіз.-мат. наук **М. В. Поляков**; д-р біол. наук **С. Скіба** (Польща); акад. НАНУ, акад. НААНУ, д-р с.-г. наук **О. О. Созінов**; д-р біол. наук **Р. С. Srivastava** (Індія); 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**; 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**.

ІНОЗЕМНІ ЧЛЕНИ РЕДАКЦІЙНОЇ КОЛЕГІЇ:

Акад. УЕАН, д-р біол. наук **Ж. М. Ресіо Есπεжо** (Іспанія); акад. УЕАН, д-р біол. наук **Д. Г. Рей** (Індія); д-р біол. наук **Гу Сію** (Китай); д-р біол. наук **Ф. Гурбуз** (Туреччина); акад. АН Туркменістану, д-р біол. наук **Н. Р. Корпєєв** (Туркменістан); акад. НАНУ, д-р біол. наук **Е. Нево** (Ізраїль); д-р біол. наук **С. Скіба** (Польща); д-р біол. наук **Р. С. Srivastava** (Індія); д-р геогр. наук **М. К. Чертко** (Білорусь).

Рекомендовано до друку Вченою радою
Дніпропетровського національного університету ім. О. Гончара
(протокол № 13 від 09.06.2016 р.)

Адреса редколегії: 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, 2016
© ТОВ «Агентство «Телепресінформ», 2016

TABLE OF CONTENTS

THEORETICAL AND PRACTICAL ISSUES OF SOIL SCIENCE

<i>Medvedev V. V.</i> Agrizem as a new 4-dimensional polygenetic formation	5
<i>Chorny S. G., Abramov D. A.</i> The monitoring of southern chernozem soil humus content with using multispectral satellite images Landsat: spatial and temporal aspects	22
<i>Dmytruk Y. M.</i> Ecological-evolutionary analysis of lithium content in soils	31
<i>Smaga I. S.</i> Diagnostic problems of elementary soil processes and profile- differentiated soils of the Precarpathian region	40
<i>Nikorych V. A., Chervonogrodska I. V.</i> Colouristic criteria of S-matrix of the precarpathians brownish-podzolic gleyed soils	49

SOIL PHYSICS

<i>Gorban V. A., Strygina T. A., Mandrygelia M. V.</i> Features of structural- aggregate condition of forest chernozems in Hlyboky ravine	65
--	----

SOIL CHEMISTRY

<i>Miroshnychenko N. N., Kutz O. A.</i> Selective absorption of heavy metals by soil and humic acids at different pH levels	74
--	----

LAND RECLAMATION

<i>Zverkovsky V. M., Zubkova O. S.</i> Dynamics of mine rocks and artificial soils agrochemical characteristics under the impact of long-term reclamation	83
--	----

TO THE AUTHORS' ATTENTION	90
--	----

З М І С Т

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРИКЛАДНІ ПИТАННЯ ҐРУНТОЗНАВСТВА

<i>Медведев В. В.</i> Агрозем как новое 4-мерное полигенетическое образование	5
<i>Чорний С. Г., Абрамов Д. А.</i> Моніторинг вмісту гумусу у чорноземі південному з використанням багатоспектральних знімків супутників Landsat: просторові та тимчасові аспекти	22
<i>Дмитрук Ю. М.</i> Еколого-еволюційний аналіз вмісту літію у ґрунтах	31
<i>Смага І. С.</i> Проблеми діагностики елементарних ґрунтових процесів і профільно-диференційованих ґрунтів у Передкарпатті	40
<i>Нікорич В. А., Червоногородська І. В.</i> Колористичні критерії S-матриці буровато-підзолистих оглеєних ґрунтів Передкарпаття	49

ФІЗИКА ҐРУНТІВ

<i>Горбань В. А., Стригіна Т. А., Мандригеля М. В.</i> Особливості структурно-агрегатного складу чорноземів лісових байраку Глибокого	65
---	----

ХІМІЯ ҐРУНТІВ

<i>Мірошниченко М. М., Куц О. А.</i> Селективність поглинання важких металів ґрунтом та гуміновими кислотами за різних рівнів рН	74
--	----

РЕКУЛЬТИВАЦІЯ ЗЕМЕЛЬ

<i>Зверковський В. М., Зубкова О. С.</i> Зміни агрохімічних властивостей шахтних порід та штучних ґрунтів під впливом довготривалої рекультивації	83
---	----

ДО УВАГИ АВТОРІВ	91
-------------------------------	----

THEORETICAL AND PRACTICAL ISSUES OF SOIL SCIENCE



V. V. Medvedev ✉

Academician of NAAS
of Ukraine,
Dr. Sci. (Biol.), Professor

UDK 631.43

*National Scientific Centre «O. N. Sokolovsky Institute
for Soil Science and Agrochemistry Research»,
Chajkovska str., 4, Kharkov, Ukraine, 61024*

AGRIZEM AS A NEW 4-DIMENSIONAL POLYGENETIC FORMATION

Abstract. Morphological (horizontal and vertical profiles of soils), micromorphological (mainly, anisotropism of aggregates and pores), physical properties (structure, density, differential porosity and their transformation for an appreciable length of time – time profiles), features of formation of descending (preferential) and ascending waterstreams were investigated. Chernozems (typical, ordinary, southern) were objects of the research. In the article the results of comparative researches of the soils which are in various conditions of use – from absolutely reserved virgin soil to variants in industrial and experimental conditions are stated. On a virgin soil there are aggregates of mainly isometric roundish form. On an arable land anisotropic lumps (blocks) of the wrong form, the size, as a rule, more than 10 (20) mm, and silting structure dominate. At tillage characteristic stability for a virgin soil pore spaces is broken, the length of a time of one diameter decreases. Pores A are filled with microaggregates and thindispersed not aggregated material. On a virgin soil the density at its analysis in vertical and time aspects throughout 30 years remained a constant. On an arable land, since 30 to depth of 60–80 cm density authentically above (it, most likely, forrow bottom). Under the influence of long tillage mobility of thindispersed parts increase, its reorientation to a place and periodic descending migration from horizon H (A) in horizon of Hp (AB₁) is observed. Essential feature of ploughed up and especially irrigated soil in comparison with the virgin consists in distinct display of the plastic deformation which are at the bottom of raised consolidation of soil. The structurally-modular structure of soils in the conditions of long arable land in comparison with a virgin soil considerably changes: the quantity agronomical valuable fraction, its water stability, mechanical durability decreases. On an arable land preferential streams of a moisture (or a failure filtration on large pores) are formed. The executed researches of soils in the conditions of a virgin soil and an arable land allow to ascertain that the mode of receipt and the moisture expense, aeration, growth of roots, exchange processes and in general ecological and productive functions on these objects are various. On an arable land soilformation process gets other orientation. As a result of researches essential distinctions between natural and ploughed up soil are established for a long time, and distinctions have appeared so essential that have allowed to confirm – under the influence of long agricultural use the natural soil is transformed in agrizem, has essentially other properties and modes and can quite be called as new polygenetic (natural-anthropogenous) formation. Till now existence of agrizem remains a debatable question and that it was really recognised new soil and has got «the

✉ Tel.: +38057-704-16-69, e-mail: vvmedvedev@ukr.net

DOI: 10.15421/041601

ISSN 1684–9094. Gruntoznavstvo. 2016. Vol. 17, no. 1–2

citizenship» rights additional proofs are necessary. Features of agrizem as new soil in comparison with a virgin soil: anisotropism, bimodality of pore spaces, consolidation of soil aggregates, seasonal and long-term dynamics of density and properties, infringement of convertibility of soils owing to loss and labilization of organic substance, occurrence of new horizontal, vertical and time profiles, aridization and biodiversity reduction. Agrizem loses ability to restore inherent in it modal, characteristic for natural analogue, parameters. Owing to strengthening of spatial heterogeneity for agrizem gradual transition from continuity to step-type behaviour of a soil cover, and as a whole – local easing of sod – with reference to chernozems – soil formation process is characteristic. Agrizem as the new type of soil demands reflexion in the nomenclature and classification, the account in division into districts and the differentiated system of use.

Polygenetic is a formation principal cause of agrizem. Agrizem – a product of natural, economic (industrial, technological) and social factors. Today the person and its activity on the earth becomes the leading factor of formation of new soils.

Keywords: agrizem, a microstructure, properties, profiles, modes.

УДК 631.43

В. В. Медведєв

акад. НААН України,
д-р біол. наук, проф.

*Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії
ім. О. Н. Соколовського», вул. Чайковська, 4, м. Харків, Україна, 61024,
тел.: +38057-704-16-69, e-mail: vvmedvedev@ukr.net*

АГРОЗЕМ ЯК НОВЕ 4-ВИМІРНЕ ПОЛІГЕНЕТИЧНЕ УТВОРЕННЯ

Анотація. У статті зроблено спробу виявити розходження між природним і орним ґрунтом. Об'єктами дослідження були чорноземи (типові, звичайні, південні) в умовах цілини (тривалого перелугу) і ріллі. Через те, що розходження між цілиною й ріллею виявилися дуже істотними й стійкими, то це дозволило стверджувати – під впливом тривалого землеробського використання природний ґрунт трансформується в агрозем, має принципово інші властивості й режими й цілком може називатися новим полігенетичним (природно-антропогенним) утворенням. Підставою для такого твердження послужили результати порівняння мікробудови пор і агрегатів, горизонтального, вертикального й часового профілів, а також, головним чином, фізичних властивостей.

Особливості агрозему як нового ґрунту в порівнянні із цілиною: анізотропність, бімодальність порового простору, консолідація ґрунтових агрегатів, сезонна й багаторічна динаміка щільності будови й властивостей, порушення оборотності ґрунтів унаслідок втрати й лабілізації органічної речовини, виникнення нових горизонтальних, вертикальних і часових профілів, аридизація й зменшення біорізноманіття. Агрозем втрачає здатність відновлювати властиві йому модальні, характерні для природного аналога, параметри. Внаслідок посилення просторової неоднорідності (гетерогенності) для агрозему характерний поступовий перехід від континуальності до дискретності ґрунтового покриву, і в цілому – локальне послаблення дернового – стосовно до чорноземів – процесу ґрунтоутворення. Агрозем як новий тип ґрунту вимагає відбиття в номенклатурі й класифікації, урахуванні в районуванні й диференційованій системі використання.

Полігенетичність – основна причина формування агроземів. Агрозем – продукт природних, економічних (виробничих, технологічних) і соціальних факторів. Сьогодні людина та її діяльність на землі стає провідним чинником формування нових ґрунтів.

Ключові слова: агрозем, мікробудова, властивості, профілі, режими.

УДК 631.43

В. В. Медведєв

акад. НААН України,
д-р біол. наук, проф.

*Национальный научный центр «Институт почвоведения и агрохимии
им. А. Н. Соколовского», ул. Чайковская, 4, г. Харьков, Украина, 61024,
тел.: +38057-704-16-69, e-mail: vvmedvedev@ukr.net*

АГРОЗЕМ КАК НОВОЕ 4-МЕРНОЕ ПОЛИГЕНЕТИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Аннотация. В статье сделана попытка выявить различия между природной и давно распаханной почвой. Объектами исследования были черноземы (типичные, обыкновенные,

южные) в условиях целины (длительной залежи) и пашни. Так как различия между целиной и пашней оказались настолько существенными и устойчивыми, то это позволило утверждать – под влиянием длительного земледельческого использования природная почва трансформируется в агрозем, имеет принципиально иные свойства и режимы и вполне может называться новым полигенетическим (природно-антропогенным) образованием. Основанием для такого утверждения послужили результаты сравнения микростроения пор и агрегатов, горизонтального, вертикального и временного профилей, а также, главным образом, физических свойств.

Особенности агрозема как новой почвы в сравнении с целиной: анизотропность, бимодальность порового пространства, консолидация почвенных агрегатов, сезонная и многолетняя динамика сложения и свойств, нарушение обратимости почв вследствие потери и лабильности органического вещества, возникновение новых горизонтальных, вертикальных и временных профилей, аридизация и уменьшение биоразнообразия. Агрозем теряет способность восстанавливать присущие ему модальные, характерные для природного аналога, параметры. Вследствие усиления пространственной неоднородности (гетерогенности) для агрозема характерен постепенный переход от континуальности к дискретности почвенного покрова, и в целом – локальное ослабление дернового – применительно к черноземам – процесса почвообразования. Агрозем как новый тип почвы требует отражения в номенклатуре и классификации, учета в районировании и дифференцированной системе использования.

Полигенетичность – основная причина формирования агроземов. Агрозем – продукт природных, экономических (производственных, технологических) и социальных факторов. Сегодня человек и его деятельность на земле становится ведущим фактором формирования новых почв.

Ключевые слова: агрозем, микростроение, свойства, профили, режимы.

ВВЕДЕНИЕ

Из факторов почвообразования антропогенный занимает особое место. Его действие на почву началось после того, как почва была сформирована. Если процесс почвообразования под действием природных факторов (климата, породы, растительности и рельефа) продолжался примерно несколько десятков миллионов лет и продолжается теперь, то действие антропогенного фактора началось всего несколько тысячелетий тому назад и резко усилилось в последние примерно 100–150 лет. Действие человека на почву (и к тому же на все факторы почвообразования) настолько значительно и многообразно, что не может не изменить почвы. Пожалуй, лучше других об этом сказал В. В. Докучаев (Dokuchaev, 1953) в своей книге «Наши степи прежде и теперь», изданной еще в конце 19 века. В этой работе было обращено внимание на резкое ухудшение физических свойств распаиваемых почв в сравнении с природной почвой, потерю в них органического вещества, усиление эрозионных процессов. Но в то время вопрос о том, сформировалась ли новая почва под действием антропогенной деятельности или нет, не ставился. Утверждение о том, что целина и старопашотная почвы – по сути две различные почвы, появилось много позже (Bogdanov, 1959). А полноценное место в классификации агрозем получил совсем недавно, да и то только в классификациях почв некоторых стран. В классификации почв Украины (Polupan et al., 2005) всего лишь допускается возможность корректировки основного процесса для длительно используемой почвы на уровне варианта без изменения основной природной направленности почвообразования. Еще ранее примерно также трактовали процесс окультуривания А. М. Гринченко и др. (Grinchenko et al., 1966). В их интерпретации окультуривание означало возможность сохранения и даже улучшения агрономически важных свойств почв в условиях длительного рационального использования при неизменности основного типа природного почвообразования. В Украине, кажется, только Д. Г. Тихоненко (Tichonenko, 2012) является сторонником самостоятельности агрозема как нового типа почвы.

До сих пор существование агрозема остается дискуссионным вопросом и для того, чтобы он действительно был признан новой почвой и приобрел права «гражданства», нужны дополнительные доказательства.

Нами, начиная с 60-х годов минувшего столетия, проводились сравнительные исследования преимущественно черноземных почв, находящихся в различных условиях использования – от абсолютно заповедной целины до вариантов в производственных и опытных условиях, где применяли разнообразные агроприемы. Изучали основные свойства и режимы, в результате чего был накоплен значительный массив информации. В настоящей статье сделана попытка выявить наиболее существенные различия между природной и давно распаханной почвой, причем, сразу же отметим, различия оказались настолько существенными, что позволили нам уверенно утверждать – под влиянием длительного земледельческого использования природная почва трансформируется в агрозем, имеет принципиально иные свойства и режимы и вполне может называться новым полигенетическим (природно-антропогенным) образованием.

МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследовали морфологические (горизонтальные и вертикальные профили почв), микроморфологические (главным образом, анизотропность агрегатов и пор), физические свойства (структуру, плотность, дифференциальную пористость и их трансформацию в течение продолжительного времени – временной профиль), особенности формирования нисходящих (преференциальных) и восходящих потоков влаги на целине и в пашне. Применяли общепринятые аналитические (полевые и лабораторные), статистические и геостатистические методы. Объектами исследования были черноземы (типичные, обыкновенные, южные) в условиях целины (длительной залежи) и пашни. Использовали также данные, собранные в базе «Свойства почв Украины» (Laktionova et al., 2012).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Микростроение агрегатов и пор целины и пашни. В черноземных почвах целины встречаются агрегаты преимущественно изометрической (с примерно одинаковыми размерами во всех направлениях) округлой формы. Такая форма агрегатов, как правило, свидетельствует об аккумулятивных процессах с активным участием поливалентных катионов. Округлая форма агрегатов присуща всем почвам с дерновым процессом почвообразования.

Агрегаты имеют размер менее 10 мм, пронизаны корнями и не расплываются под действием ливня, если даже снять дернину, обладают достаточно высокой механической прочностью. Заметной динамики структурного состояния в течение теплого периода года не отмечается.

Для целинных черноземов характерно губчатое умеренно плотное сложение, в котором отсутствуют неагрегированные компоненты. В таких условиях практически не идут процессы, тормозящие агрегацию. Поэтому она достигает здесь наибольшего развития. Пожалуй, лишь в почве под дубовым лесом можно найти еще более совершенную структуру. Агрегаты, формирующие такое сложение, имеют сложное строение, многопорядковую структуру (их порядковость обычно 4–5), разветвленную сеть меж- и внутриагрегатных пор. Губчатое плотное сложение может рассматриваться в качестве эталона, потому что по отношению к нему легко диагностируются все изменения, связанные с распашкой.

После распашки целины обособление агрегатов становится вполне ясным и их порядковость практически никогда не превышает 2–3. Губчатое сложение сразу же разрушается и трансформируется во фрагментарное, а затем в слитое, причем его плотность становится ощутимо выше, чем в исходном целинном состоянии. Причина такой трансформации заключается в изменении формы агрегатов – от округлой изометрической правильной к неправильной угловатой.

На пашне после многолетней обработки доминируют анизотропные комки (глыбы) неправильной формы, размером, как правило, более 10 (20) мм, и

пороховидная структура. В типичном черноземе глыб может быть до 20 %, а в южном – до 60 %. Комки содержат мало корней, после летнего ливня или в орошаемых условиях расплываются и образуют корку. Обращает на себя внимание изменение на пашне размера, формы, внешнего и внутреннего строения агрегатов. У последних, как правило, отсутствует почти обязательная для агрегатов целины окантовка гуматной (предположительно гидрофобной, сообщающей ему дополнительную устойчивость) пленкой, резко возрастает рельефность, деформированность, а вместе с ними снижается совершенство их очертаний. Коэффициент оформленности агрегатов (по типу коэффициента окатанности галек Уэйделла-Кухаренко (Atlas., 1962)) для агрегатов обрабатываемых слоев достигает 0,15–0,30, а в черноземе южном – ниже 0,10 против 0,40–0,50 на целине при максимуме по эталону 0,90. Значительно изменяется соотношение агрегатов высокого и низкого порядков. Причем в черноземе южном по сравнению с другими подтипами порядковость агрегатов (то есть, их сложность, губчатость) выражена слабее, а способность изменяться под действием обработки сильнее.

При обработке количество неагрегированного материала во всех черноземах возрастает: в наибольшей мере у чернозема южного, в наименьшей – у чернозема обыкновенного.

При обработке нарушается характерная для целины стабильность порового пространства, уменьшается длина пор одного диаметра. Поры заполняются микроагрегатами и тонкодисперсным неагрегированным материалом. В обрабатываемом слое формируются два типа скоплений агрегатов: индивидуальные обособленные и искусственно сближенные. При обработке происходит резкое взрыхление отдельных, их разрушение (в шлифе в этой фазе обнаруживается большое количество пор и отдельных макро- и микроагрегатов), далее отдельные сближаются по вертикальной оси, плотность быстро нарастает и формируются, скорее всего, ложные макроагрегаты.

Характерны изменения строения агрегатов в процессе восстановления равновесной плотности: растет их порядковость вследствие агрегации неагрегированного материала, улучшается оформленность (видимо, в результате роста корней и деятельности почвенной фауны).

Как показало микроморфометрирование ориентированных шлифов, анизотропность сложения является важным генетическим признаком и обусловлена анизотропностью размеров структурных комочков.

Восстановление равновесной плотности исследованных почв сопровождается более интенсивным уменьшением видимой пористости по вертикали, чем по горизонтали. В результате в равновесном состоянии распахиваемые почвы характеризуются повышенной анизотропностью по сравнению с целиной (залежью), что, очевидно, служит непосредственной причиной более высокой вариабельности водно-физических свойств на пашне.

При обработке резко возрастает количество межагрегатных пор (обычно поры размером 15–20 мкм), которые даже при увлажнении, равном наименьшей влагоемкости (28–32 % от массы почвы) не могут удержать капиллярную влагу (расчет по формуле Жюрена). Поры такого размера характеризуются высокой влагонепроводностью (именно поэтому впитывание влаги на пашне в первые часы наблюдений существенно выше, чем на целине). Вода в них не задерживается: она либо стекает в ниже лежащие слои почвы, либо испаряется. Ценность таких пор в обеспечении растений влагой невелика. Их роль сводится к восприятию осадков и осуществлению процессов газообмена с атмосферой. Если исходить из того, что оптимальное соотношение меж- и внутриагрегатных пор должно приближаться к единице (Dojarenko, 1963), то полученные соотношения указывают на избыточное количество межагрегатных пор во всех исследованных черноземах даже на целине, при этом обработка еще более ухудшает их соотношение. Важно подчеркнуть, что

чем выше порядковость агрегатов, тем более они содержат внутриагрегатных обводненных пор, где происходит водно-минеральное питание растений.

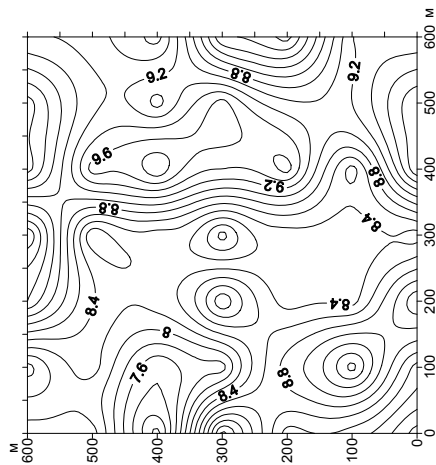
Горизонтальный профиль целины и пашни. Попытки установить закономерности горизонтального пространственного распределения почв и их свойств ранее предпринимались неоднократно. По сути, учение о структуре почвенного покрова (Frydland, 1972) – одна из важнейших концепций, развитых в этом направлении. Еще ранее исследовали различные почвенные комплексы, комбинации, катены. Однако, как справедливо заметил С. В. Горячкин (Gorjashkin, 2006), учение о горизонтальном профиле почв находится на начальном этапе своего развития и, к тому же, стало популярным лишь в географии почв. Что же касается гидрологии, физики, микробиологии, минералогии и других разделов почвоведения, то тут в этом отношении вообще мало что известно. Также, впрочем, как и о трансформации пространственных структур при активном сельскохозяйственном освоении почв.

Ниже покажем примеры горизонтального профиля почв на целине и пашне, используя для этого результаты геостатистической обработки пространственных данных, в частности, 2-D- и 3-D-диаграммы (рис. 1). Хорошо заметна существенно более выраженная горизонтальная пестрота содержания фосфора на пашне (коэффициент пространственной вариации 56 %) в сравнении с целиной (9 %). Стоит обратить внимание на то, что почти 30-летний опыт применения фосфорных удобрений на пашне в данном объекте не только не устранил пространственную вариабельность содержания фосфора в почве, что логично было бы ожидать, но и существенно ее увеличил. Аналогичный пример нами был найден в работе английского исследователя R. J. Godwin et al. (2002), правда, опыт применения удобрений там был несколько больше – почти 150 лет.

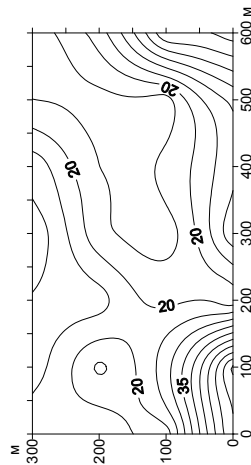
Вертикальный и временной профили целины и пашни. Рассмотрим этот вопрос на примере равновесной плотности сложения чернозема южного. Измерения (в 6-ти кратной повторности) произведены в середине лета с интервалом в 15 лет – в 1967, 1982 и 1997 гг. (табл. 1). Как известно, на целине, залежи, в лесу, в почве, не используемой в сельскохозяйственном производстве, отсутствует основной фактор, воздействующий на плотность, – механическая обработка. Цикл превращения элементов в этих условиях не сопровождается их изъятием, как это происходит при возделывании полевой культуры. В природных условиях в почву не поступают удобрения, способствующие активизации микробиологической деятельности, не осуществляются мелиоративные мероприятия. Иначе говоря, это замкнутая термодинамически равновесная система. Конечно, и здесь продолжает действовать целый ряд факторов, способных изменить плотность. Это влага, роющие животные, температура, атмосферное давление, и их сложные трансформации в течение года, сезона, суток. Замерзание и оттаивание влаги, нагревание и охлаждение, способное вызвать деформации сложения, соотношение твердой, жидкой и газообразной фаз.

Тем не менее оказалось, что плотность при ее анализе в вертикальном и временном аспектах на целине на протяжении 30 лет оставалась постоянной. В верхнем слое 0–20 см, обогащенном корнями, она была близка к $1,00 \text{ г/см}^3$, в слое 20–40 см – в пределах $1,15\text{--}1,22 \text{ г/см}^3$, в слое 40–70 см – приближалась к $1,30 \text{ г/см}^3$, в слое 70–110 см – не выше $1,34 \text{ г/см}^3$. 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, начиная с 30 см до глубины 60–80 см плотность достоверно выше (это, скорее всего, плужная подошва). Особенно существенны – до $0,3 \text{ г/см}^3$ – расхождения в плотности в верхнем слое. Отметим: это значительное различие, именно оно обуславливает различия между целиной и пашней в отношении практически всех режимов. Подчеркнем – пашня в рыхлом состоянии, то есть, близком к уплотнению целины, пребывает, как покажем далее, не более 2-х месяцев.



Содержание P_2O_5 в слое 0–20 см, мг/100 г	Площадь	
	%	га
<7,5	4,64	0,59
7,5–8,0	5,94	2,14
8,0–8,5	30,65	11,03
8,5–9,0	26,47	9,53
9,0–9,5	26,04	9,38
>9,5	9,25	3,33



Содержание P_2O_5 , мг/100 г почвы	Площадь	
	%	га
<15	2,1	0,6
15–25	67,0	20,1
25–35	23,0	6,9
35–45	4,5	1,4
45–55	2,5	0,8
55–65	0,8	0,2
>65	0,1	0,02

Рис. 1. 2-D- и 3-D-диаграммы горизонтальной пространственной неоднородности, площади контуров с различным содержанием подвижного фосфора на целине (вверху) и на пашне (внизу). Размеры поля в метрах

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 1

**Вертикальный и временной профили равновесной плотности сложения
чернозема южного в условиях целины и пашни (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...» (Pereuplotnenie, 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 – 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 1,4–1,50 до 1,20–1,28 г/см³.

Наблюдения за сезонной динамикой плотности сложения на целине показывают, что изменения плотности все же присутствуют, но они не могут считаться существенными (табл. 2). Это значит, что упомянутые выше воздействия на целине не в состоянии изменить плотность. Видимо, каждый фактор оказывает двойственное воздействие на почву. С одной стороны, это уплотнение, с другой – разуплотнение. Скорее всего, так действуют растущие корни, в одном участке уплотняя, в соседнем разрыхляя почву. Такое же действие оказывают мениски влаги, кристаллики льда при замораживании жидкой влаги.

Фактором, стабилизирующим плотность во времени, является корневая система. Особенно значительное действие на почву оказывают корневые системы лесных культур. Так, по данным Н. А. Качинского (Kachynsky 1965), дерново-подзолистая тяжелосуглинистая почва в полевом севообороте и в лесу в верхнем слое имеет плотность соответственно 1,26 и 1,08 г/см³. Еще более значительная разница была отмечена в работе Н. Domzal et al. (1980) – соответственно 1,32 на пашне и 1,02 г/см³ в лесу в горизонте А₁ черноземовидной почвы.

Вследствие этого плотность сложения почвы в природных условиях – квазиравновесная величина, характерная для почвенно-климатических и эдафических условий, в условиях пашни – это неравновесная величина.

Таблица 2

Плотность сложения чернозема южного тяжелосуглинистого на абсолютно заповедной целине в течение сезона, г/см ³ (средние данные за 3 года)			
Глубина, см	Весной	В конце лета	Осенью
12–22	1,02	1,06	1,01
30–40	1,26	1,32	1,28

Если на целине диапазон изменений плотности в зависимости от изменений влажности и температуры находится в пределах $\pm 0,05$, а в зависимости от типа корневой системы несколько шире – $\pm 0,20$ – $0,30$ г/см³, то в зависимости от механической обработки он намного шире. Так, в черноземной средне- или тяжелосуглинистой почве он может достигать $\pm 0,40$ г/см³. Такой перепад плотности сложения (при плотности твердой фазы 2,60) соответствует почти 16 % общей пористости и более чем 20 % воздухоемкости, если последнюю измерить при наименьшей влагоемкости. Иначе говоря, механическая обработка и вызванные ею изменения в плотности сложения служат основной причиной динамики водно-физических свойств на пашне.

Обычно осенью после вспашки почва среднего и тяжелого гранулометрического состава (при условии, что вспашка проводится при влажности наилучшего крошения) имеет минимальную плотность – 0,85–1,00 г/см³. Перед наступлением зимы, если после вспашки прошло 1,5–2,0 месяца, формируется равновесная, точнее квазиравновесная, плотность, равная примерно 1,15–1,25 г/см³. Далее весной после нескольких циклов замораживания-оттаивания (обычно в средней полосе – это 6–7 циклов) почва вновь разуплотняется – до 1,05–1,10 г/см³ (рис. 2).

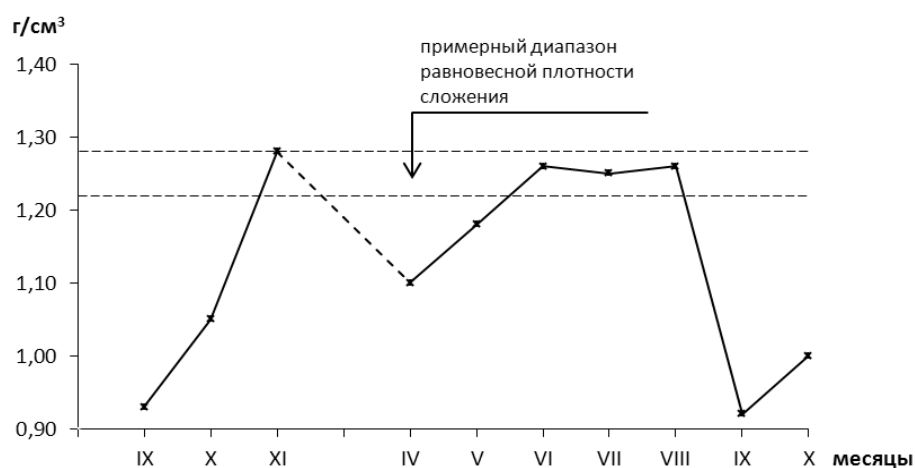


Рис. 2. Динамика уплотнения (г/см³) чернозема типичного в слое 0–10 см в течение одного календарного года

Весной после боронования и обычно двух культиваций плотность вновь снижается. При правильной технологии весенних предпосевных обработок плотность посевного слоя в это время достигает примерно 1,00 г/см³, что при одновременно благоприятном структурном составе позволяет осуществить качественный (по глубине и прямолинейности формируемых рядков) сев. Затем после прикатывания и естественных процессов оседания обрабатываемый слой вновь приобретает равновесную плотность, которая впоследствии может изменяться только после сильного увлажнения (вновь разуплотняется). В посевах пропашных культур при проведении междурядных («прополочных») рыхлений наблюдается дифференциация

плотности – в междурядье почва уплотняется, причем различия с плотностью в ряду сохраняются до уборки сахарной свеклы (Kolomiets, Nedashrivsky, 1976).

Трансформация плотности сложения во временном и вертикальном измерениях в распахиваемом черноземе сопровождается нехарактерным для целинных черноземов новым процессом лессиважа. В черноземных почвах легко- и среднесуглинистого гранулометрического состава под действием длительной обработки появляются микроморфологические признаки ориентированной глины и ее миграции (Medvedev, 1989). Правда, чешуйчато-волокнистые формы глины, которые могут свидетельствовать о ее нисходящей миграции, выражены слабо, но активизация тонкодисперсной части в виде оптически ориентированных глинистых струйчатого строения и, следовательно, ее метаморфизация на месте очевидна. Факторами, благоприятствующими лессиважу в пахотных типичных черноземах, можно считать их выщелоченность относительно целины, уменьшение в поглощающем комплексе Са и сужение соотношения между Са и Mg, подкисление почвенного раствора, уменьшение содержания гумуса и его лабильности, ослабление прочности органо-минеральных связей, диагностируемое по разрушению агрегатов, увеличение показателя анизотропности (соотношение величин видимой пористости в вертикальной и горизонтальной ориентации), более выраженную пульсацию гидротермического режима, приводящую к развитию пор-трещин, периодическое глубокое промачивание, усиление гидрофильности и снижение жесткости при соответствующем увеличении эластичности поверхности структурных отдельных частей (Medvedev, 2014).

Перечисленные факты свидетельствуют о том, что в типичных пахотных черноземах под влиянием длительной обработки наблюдается возрастание подвижности тонкодисперсной части, ее переориентация на месте и периодическая нисходящая миграция из горизонта Н (А) в горизонт Н_р (АВ₁). Это косвенно доказывается наличием отчетливой горизонтально-вертикальной делимости структур, кремнеземистой присыпки, а также характером перераспределения глины. Если в горизонте Н последняя относительно равномерно распределена в массе, то в горизонте Н_р проявляется тенденция ее сосредоточения в порах и околопоровом пространстве. Изложенное свидетельствует о начальных признаках превращения чернозема типичного мощного в чернозем типичный мощный с иным типом вертикальной трансформации тонкодисперсной части.

Консолидация. Существенная особенность распахиваемой и особенно орошаемой почвы в сравнении с целинной 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 (Horn et al., 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 слитообразовании, при котором достигается очень высокая плотность упаковки микроагрегатов за счет их взаимной ориентации (Medvedev, 1982).

Физические свойства целины и пашни. Структурно-агрегатный состав почв в условиях длительной распашки в сравнении с целиной значительно изменяется: уменьшается количество агрономически ценной фракции, ее водоустойчивость, механическая прочность, возрастает глыбистость (табл. 3). Одним из наиболее существенных следствий уменьшения стабильности порового пространства на старопашке, как мы уже упоминали, является динамика показателей плотности и пористости почвы в период между обработкой и сбором урожая культуры, и плужная подошва, которая тормозит потоки влаги и рост корней. Не менее важны изменения химических, физико-химических и биологических свойств, из которых нужно

подчеркнуть снижение содержания гумуса, изменения его качества, реакции почвенного раствора, емкости поглощения, соотношения обменных катионов, микробного пула и микробиологической активности. Не все из перечисленных изменений представлены и обсуждены в статье, но о правомерности высказанных суждений можно судить из большого количества разнообразных публикаций, например, из фундаментального обобщения, выполненного под редакцией В. А. Ковды и Е. М. Самойловой «Русский чернозем. 100 лет после Докучаева» (Russian chernozem., 1983).

Таблица 3

**Усредненные параметры 0–30 см слоя целины и пашни
чернозема типичного среднесуглинистого (Сумская область)**

Параметры, единицы измерения	Природная почва	Деградированная почва
Структура: глыбистость (>10 мм), %	5–7	18–20
агрономически ценные агрегаты (10–0,25 мм), %	80–85	50–60
пыль (<0,25 мм), %	8–10	14–16
коэффициент водоустойчивости	0,7–0,8	0,5
механическая прочность агрегатов, %	92	66
Плотность сложения:		
во время сева яровых культур, г/см ³	1,0–1,1	1,1–1,2
равновесная, г/см ³	1,1–1,2	1,2–1,3
Содержание гумуса, %	6,3	4,6
Водопроницаемость при равновесной плотности:		
за 6 часов, мм/час	65–70	50–52
коэффициент затухания	1,1–1,2	3,5–4,0
Фактор дисперсности	4,0	7,5
Почвенно-гидрологические константы при равновесной плотности, %:		
ВЗ	11,0–11,5	12,0–12,5
ВРК	16,0–17,0	18,0–19,0
НВ	25,0–26,0	24,0–25,0
ДАВ	5–6	6,0

Представляет интерес сравнение водно-физических условий при контрастных параметрах плотности, характерных для целины и пашни (табл. 4).

Таблица 4

**Водно-физические свойства чернозема южного на целине и пашне
в равновесном состоянии уплотнения (слой 0–20 см)**

Показатели	Равновесная плотность сложения, г/см ³	
	1,00 (целина)	1,35 (пашня)
Общая пористость, %	60,8	45,1
Пористость агрегатов 3–5 мм, %	41,9	38,4
Плотность агрегатов 3–5 мм, г/см ³	1,48	1,57
Воздухоёмкость при НВ, %	35,3	8,7
Воздухоёмкость агрегатов 3–5 мм, %	15,6	2,0
Водопроницаемость, мм/час	65	53

Параметры целины мы оцениваем как оптимальные (Medvedev, 1979). Параметры пашни – совершенно иначе. Обращает на себя внимание пористость отдельных агрегатов и особенно их воздухоёмкость. Последний параметр оказался для нас совершенно неожиданным. Его величина, равная 2,0 %, может свидетельствовать о возможном накоплении внутри агрегатов продуктов неполного разложения органических веществ, существенном снижении микробиологической активности, локальном присутствии восстановительных реакций, совершенно не

характерных для дернового процесса почвообразования. Это вполне вероятно весной и во время продолжительных осадков, когда уровень увлажнения близок к наименьшей влагоемкости. Да и в другое время также возможно, но приурочено к пространству внутри агрегатов, ибо их пористость крайне низка – 38,4 %, а плотность сложения, напротив, очень высока – 1,57 г/см³. При таких показателях минерализация органических веществ и трансформационная деятельность микроорганизмов замедляется. Можно гипотетически представить, что дерновый процесс в уплотненной почве как бы съезживается, локализуясь на поверхности агрегатов, где последние контактируют с межагрегатной пористостью. Внутри почвенных агрегатов типичный дерновый процесс уже не является сплошным, он чередуется с иным процессом превращения органических веществ, который, как кажется, следует изучить подробнее и найти ему место в современной таксономии подобных процессов. Подчеркнем: в верхнем слое, примерно 0–30 см, из-за периодической обработки он выражен слабо либо вообще не выражен. Зато в слое 30–70 см его присутствие совершенно очевидно. Это своеобразный метаморфизированный (преобразованный *in situ*) современный (новый) генетический горизонт как следствие многолетнего накопления в этом слое переуплотнения. *Пониженное поступление внутрь агрегатов влаги, повышенная плотность агрегатов, ухудшение условий для гумусообразования – все это можно трактовать как ослабление черноземного почвообразования.*

Потоки влаги на целине и пашне. Преференциальные (предпочтительные) потоки влаги (или провальная фильтрация по крупным порам) формируются в давно обрабатываемой почве за счет присутствия в ней глыбистых отдельностей. В целинной почве глыбы (комки крупнее 10 мм) отсутствуют (Medvedev, 2008). Хорошо известно, что даже небольшое отклонение влажности в момент обработки от влажности физической спелости приводит к образованию глыб. Именно поэтому свыше 82 % пахотных почв страны образуют глыбы, причем около 12 % пашни склонны к этому в значительной степени (Medvedev, 2008). Географически – это солонцеватые почвы сухой Степи, Винницкий остров эродированных серых оподзоленных почв, оглеенные почвы Предкарпаття и Закарпаття, а также повсеместно многие регионы Лесостепи и Степи. Это явление характерно почти для всех почв, исключая песчаные и супесчаные разновидности. В Степи Украины, где время пребывания почвы в состоянии физической спелости очень непродолжительно, вероятность образования глыб при обработке значительно возрастает.

Именно за счет глыбистости влага атмосферных осадков по крупным порам проваливается вглубь профиля. Как показывают сравнительные исследования фильтрационной способности различных структурных фракций, для почти мгновенного нисходящего передвижения влаги нужно всего лишь небольшое количество глыбистых отдельностей и соответственно крупных пор (Medvedev et al., 2003a). Причем, если в обрабатываемом слое преференциальные потоки формируются за счет глыбистых отдельностей, то в глубине профиля – за счет крупных пор биологического происхождения (Medvedev et al., 2003b). В этом исследовании подтверждена экспоненциальная связь, то есть, многократное нарастание фильтрации, как только в почве появляется лишь небольшое количество глыб (Osnovy agrofiziki, 1959).

Вполне обоснованно к преференциальным можно отнести и восходящие потоки влаги, которые приводят к непроизводительным потерям продуктивной влаги в результате процессов физического испарения. И опять-таки этому содействуют глыбы в поверхностном слое (Medvedev et al., 2004; Medvedev, 2008). Следовательно, под влиянием длительной механической обработки и почти неизбежного обесструктурирования почвы ее водный режим в сравнении с целиной ухудшается – за счет нисходящих (за пределы корнеобитаемого слоя) и восходящих (в результате усиления испарения) водных потоков.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Почва – арена действия многих факторов. Первыми следует вспомнить те из них, которые содействуют началу почвообразовательного процесса. Это температура, влажность и атмосферное давление. Изменения этих факторов (годовые, сезонные, суточные) диспергируют плотную породу и далее, уже при участии интродуцированного микробиологического населения, образуют сначала примитивную, а со временем полноценную зональную почву. Несмотря на то, что указанные факторы действуют постоянно, зональная почва может не изменяться на протяжении длительного времени. Причина равновесного состояния природной почвы та, что годовой баланс веществ и энергии в ней приблизительно равен нулю. Это значит, что в почве разрушительные и созидательные процессы уравновешены.

Это относится к синтезу и разложению гумуса, аккумуляции, выщелачиванию и перераспределению веществ, окислению-восстановлению, высвобождению и фиксации элементов. Перечисленные процессы трансформации веществ и потоки, которые по своей сути, являются противоположными, тем не менее, не приводят к изменению почв. Иначе говоря, в почвах действуют механизмы стабилизации. Можно назвать несколько механизмов, которые поддерживают равновесное состояние природной почвы.

Биологический механизм, который обеспечивается остаточным микробиологическим пулом. В почве даже после наиболее суровой зимы сохраняется (в тончайших порах, где создаются условия для выживания) хотя бы небольшое количество микробной массы, которая с наступлением благоприятных параметров влаги и тепла способна быстро восстановить свою исходную массу и функции. Так же действует постоянно возобновляемая система обеспечения почвы свежим органическим веществом, которое частично минерализуется, а частично превращается в гумус, а со временем тоже минерализуется. Этот процесс идет на протяжении столетий, пока весь гумус не обновляется полностью. В черноземах ориентировочно на это нужно 400–600 лет. То есть, каждые 400–600 лет органическая часть почвы обновляется.

Комплексный механизм – за счет биохимического круговорота, нисходящих и восходящих потоков в природных почвах поддерживается постоянный вещественный состав во времени. Биоразнообразие почвенного покрова – это также своеобразный механизм поддержания почв и границ между ними в пространстве. Мозаика почвенного покрова в естественных условиях поддерживается на протяжении неопределенно длительного времени (по меньшей мере, до тех пор, пока не происходит геоаномалий или существенных пространственных трансформаций).

Ситуация кардинально меняется, когда почва осваивается человеком и превращается в естественно-антропогенное тело. Здесь могут возникнуть, по меньшей мере, два сценария: 1) полное необратимое разрушение почвы – вследствие строительства, асфальтирования, открытых разработок ископаемых и т.п.; 2) разные трансформации в результате действия агротехники, агрохимикатов, мелиорации, техногенных выбросов. Последний сценарий рассмотрим несколько подробнее.

Потоки антропогенного происхождения не присущи системе природных факторов, которые формируют почву. Агротехнологические приемы, внесение химикатов, мелиоративные мероприятия, сбор урожая, разного рода техногенные загрязнения чужды этой системе, они вызывают изменения характерного для естественных условий обмена веществ и энергии. Освоенная почва активно противодействует антропогенному вмешательству. Для этого она имеет несколько механизмов, которые включаются, когда почва осваивается человеком. Это – биологический механизм, а именно самоочистительная способность, а также физико-химический механизм (буферность, адсорбция, барьерная функция). Благодаря существованию этих механизмов почва способна уменьшать отрицательные следствия ксенобиотических вмешательств. Каждая почва имеет определенную емкость противодействия, после превышения которой она необратимо изменяется.

Сравнивая целинные и распахиваемые почвы, исследователи констатируют большие различия между ними, но не решаются, при некоторых исключениях, отнести их к генетически разным почвам. Как кажется, целина и старопашка продолжают оставаться генетически родственными почвами, но относительно пашни действие антропогенного фактора настолько значительно, что привело к существенному преобразованию, деградации экологических и продуктивных функций. До недавних пор почвоведы словно бы не замечали антропогенно преобразованных почв. Им не находилось места в классификациях почв, в уточнении специфики их пригодности к выращиванию тех или других культур, технологии почти не корректировались в зависимости от уровня измененности (деградированности).

Таким образом, мы констатируем: все старопашотные почвы вследствие неуравновешенного баланса веществ и энергии в сравнении с их естественными аналогами изменены. Квазиравновесное состояние, которое наступает в пахотном слое спустя некоторое время после распашки целины (Chesnjak et al., 1966) скорее всего не соответствует действительности. Точнее, как кажется, быстрые темпы ухудшения почвы непосредственно после распашки (например, дегумификация) сменяются более медленными. Равновесного состояния почв на фоне отрицательного баланса веществ и энергии достичь невозможно

Выполненные исследования почв в условиях целины и пашни позволяют констатировать, что режим поступления и расхода влаги, аэрация, рост корней, обменные процессы и вообще экологические и продуктивные функции на этих объектах различны. На пашне почвообразовательный процесс приобретает иную направленность.

Кажется, не лишним будет подчеркнуть, что повышенная равновесная плотность на пашне является очень опасной еще и потому, что восстановление умеренной плотности, вероятнее всего замедленный, а может даже в отдельных случаях, – невозможный процесс. Причина – резко ограниченные условия для освоения агрегатов корнями и проникновения влаги. Ведь то и другое – основные факторы разуплотнения почв.

Отдельного внимания заслуживает характеристика порового пространства, указывающая на отношение межагрегатных пор к внутриагрегатным. На пашне доля межагрегатных пор резко возрастает в ущерб внутриагрегатным. Такое строение пашни обуславливает ее повышенную способность запасать влагу, но и быстро ее терять.

Сужение соотношения «почва-раствор», обнаруживаемое при переуплотнении, увеличение объема термодинамически связанной воды, уменьшение протяженности пор вертикальной ориентации приводит к снижению проницаемости почвы для воды, воздуха, элементов, растворов, миграционной способности и консервации элементов на месте. Не менее важным следствием является замедление превращения веществ в рамках большого и малого циклов. Вертикальные перемещения влаги и веществ, судя из достаточно выраженной водопроницаемости не прекращаются, а скорее всего, локализуются в относительно крупных межагрегатных порах. Это и будут так называемые «preferential flow» – преимущественные (предпочтительные) потоки. В межагрегатных порах влага перемещается намного быстрее, так как не подвержена действию капиллярных сил, на нее действуют преимущественно гравитационные силы. Поэтому она быстрее достигает больших глубин и меньше взаимодействует с поверхностью почвенных агрегатов. Именно эта особенность миграции влаги объясняет, почему в рассматриваемых вариантах пашни глубина промачивания больше чем на целине, несмотря на повышенную плотность пашни.

Вместе с тем, нельзя не подчеркнуть, что влагоемкость распаханной почвы, ее способность воспринимать влагу и равномерно распределять по всему объему корнеобитаемого слоя существенно хуже, чем целины.

Впитывание влаги в рыхлую почву сопровождается ее уплотнением, быстрым наступлением равновесного состояния. Одновременно с этим резко уменьшается поступление влаги в почву. Затухание тем стремительнее, чем рыхлее и хуже

оструктурена исходная почва. Причина затухания впитывания – уменьшение градиента капиллярно-сорбционного потенциала. Сухая почва, имеющая максимальный потенциал, при увлажнении его быстро исчерпывает (снижает). При снижении потенциала до нуля скорость впитывания становится постоянной и равняется коэффициенту фильтрации или насыщенной гидравлической проводимости.

Впитывание влаги – плохо поддающийся формализации изменчивый процесс, управляемый большим числом факторов. Если поры крупные, впитывание продолжается дольше, тонкие – короче. Но так как в почве имеются поры различного размера, то мелкие быстрее заполняются водой, насыщаются. Поток в них становится ламинарным (прямолинейным, параллельным) и подчиняется закону Дарси, то есть, пропорционален гидравлическому градиенту. Легко предположить, чем плотнее почва и чем меньше крупных пор она содержит, тем скорее завершается фаза впитывания (ненасыщенный поток) и наступает фильтрация (насыщенный поток). Именно поэтому, черноземы пашни в сравнении с целиной характеризуются контрастным водным режимом.

Чем выше равновесная плотность, тем выше вероятность возникновения поверхностного и горизонтального внутрипочвенного стока. Любые перепады плотности в профиле замедляют потоки влаги. Если поверхностный рыхлый слой сменяется уплотненным (например, в черноземе плужная подошва в основании пахотного слоя), весьма вероятно застаивание влаги, временное внутрипочвенное либо внутриагрегатное переувлажнение.

Повышенная равновесная плотность на пашне негативным образом сказывается на воздухоемкости почвы. В черноземе типичном среднесуглинистого и тяжелосуглинистого грансостава уже при плотности 1,3–1,4 г/см³ содержание воздуха опускается до критического уровня – менее 15 %.

ВЫВОДЫ

На основании сравнения микростроения пор и агрегатов, горизонтального, вертикального и временного профилей, а также, главным образом, физических свойств целинных и распахиваемых черноземов, и учитывая существенные различия между ними сделан вывод о правомерности выделения агрозема как самостоятельного типа почвы.

Полигенетичность – основная причина формирования агроземов. Агрозем – продукт природных, экономических (производственных, технологических) и социальных факторов. Сегодня человек и его деятельность на земле становится ведущим фактором формирования новых почв. В результате антропогенной эволюции постепенно формируется новая почва с иными свойствами и режимами в сравнении с целинным аналогом.

Особенности агрозема как новой почвы в сравнении с целиной следующие: анизотропность, бимодальность порового пространства, консолидация почвенных агрегатов, сезонная и многолетняя динамика сложения и свойств, начальные признаки трансформации тонкодисперсной минеральной части по типу лессиважа, нарушение обратимости почв вследствие потери и лабилизации органического вещества, возникновение новых горизонтальных, вертикальных и временных профилей, аридизация и уменьшение биоразнообразия. Агрозем теряет способность восстанавливать присущие ему модальные, характерные для природного аналога, параметры. Вследствие усиления пространственной неоднородности (гетерогенности) для агрозема характерен постепенный переход от континуальности к дискретности почвенного покрова, и в целом – локальное ослабление дернового – применительно к черноземам, процесса почвообразования.

Агрозем как новый тип почвы требует отражения в номенклатуре и классификации, учета в районировании и дифференцированного использования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

- Atlas tekstur i struktur osadochnykh gornykh porod. Ch. 1. Oblomochnye i glinisty e porody, 1962 [The Atlas of sedimentary structures of rocks. P. 1. Rock debris and clay breeds]. Editor A. V. Habakov. Publishing house of the literature on geology and protection of bowels, Moscow (in Russian).
- Bogdanov, N. I., 1959. Voprosy pochvennoy struktury [Questions of soil structure]. Works Omsk agr. Institute 34, 43–55 (in Russian).
- Chesnjak, O. A., Chesnjak, G. J., Zakharova, V. A., 1966. Dinamika pitatelnykh veshchestv i mikrobiologicheskie protsessy v moshchnom chernozeme pri dlitelnom ego selskokozyajstvennom ispolzovanii [Dynamics of nutrients and microbiological processes in powerful chernozem at its long agricultural use]. Trudy Khark. Selhosinstitute im. V. V. Dokuchaeva 49, 17–24 (in Russian).
- Dojarenko, A. G., 1963. Izbrannye sochineniia [The selected compositions]. Publishing house «Selhozgis», Moscow (in Russian).
- Dokuchaev, V. V., 1953. Nashi stepi prezhe i teper [Our steppe before and now]. Selhosgis, Moscow (in Russian).
- Domzal, H., Slowinska-Jurkiewich, A., Turski, R., Palicot, M., 1980. The influence of agricultural cultivation on the density and water retention of soils formed from loesses. Polish J. Soil Science 13, 91–98.
- Frydland, V. M., 1972. Struktura pochvennogo pokrova [Structure of a soil cover]. Idea, Moscow (in Russian).
- Godwin, R. J., Earl, R., Taylor, C., Wood, G. A., Bradley, R. I., Welsh, J. P., Richards, T., Blackmore, B. S., Carver, M., Knight, S., 2002. Precision farming of cereals. Practical guidelines and crop rotation. Project Report 267, Home-Grown Cereals Authority. London. P. 8.
- Gorjachkin, S. V., 2006. Problema prioriteto v sovremennykh issledovaniakh pochvennogo pokrova: strukturno-funktsionalno-informatsionnyj podkhod ili partialnyj analiz [Problem of priorities in modern researches of a soil cover: the structural-functional-information approach or the partial analysis]. Proceedings «Modern natural and anthropogenous processes in soils and geosystems». Moscow, 53–80 (in Russian).
- Grinchenko, O. M., Chesnjak, O. A., Chesnjak, G. Ja., 1966. Vliianie selskokozyajstvennoj kultury na izmenenie fiziko-khimicheskikh svoystv mochnogo chernozema [An influence of an agricultural crop on change of physical and chemical properties of powerful chernozem]. Sc. works of Kharkiv agriuniversity 49, 7–16 (in Russian).
- Horn, R., Fleige, H., 2000. 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, 109–121.
- Kachynsky, N. A., 1965. Fizika pochv. Ch. 1 [Soil physics. P. 1]. Printing house of MSU, Moscow (in Russian).
- Kolomiets, O. P., Nedashrivsky, O. I., 1976. Shchilnist gruntu i ii reguluvannia protyagom vegetatsii tsukrovnykh buriakiv [Soil bulk density and its managing on vegetation of sugar beet]. Visnyk agrarnoy nauky 10, 13–17 (in Ukrainian).
- Laktionova, T. N., Medvedev, V. V., Savchenko, K. V., Bigun, O. N., Shejko, S. N., Nakisko, S. G., 2012. Baza dannykh «Svoystva pochv Ukrainy». Struktura i poriadok ispolzovaniia [«Database of soil properties for Ukraine». Structure and the order of use]. Apostrophe, Kharkiv (in Russian).
- Medvedev, V. V., 1979. Optymalni agrofizychni parametry gruntiv [Optimum agrophysical soil parameters]. Agrokhimiia i gruntoznavstvo 38, 54–61 (in Ukrainian).
- Medvedev, V. V., 1989. O lessivazhe v pakhotnykh tipichnykh chernozemakh [On lessive in arable typical chernozems]. Bulletin Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva 51, 4–5 (in Russian).
- Medvedev, V. V., 2008. Struktura pochvy (metody, genezis, klassifikatsiia, evolyutsiia, geografiia, monitoring, okhrana) [Soil structure (methods, genesis, classification, evolution, geography, monitoring, protection)]. 13 printing house, Kharkiv (in Russian).
- Medvedev, V. V., 2014. Soderzhanie i zakonomenosti antropogennoj evolyutsii pochv [The content and laws of soil antropogeneous evolution]. Gruntoznavstvo 15(1-2), 17–32 (in Russian).
- Medvedev, V. V., Laktionova, T. N., Pocheptsova, L. G., 2003. Vplyv struktury gruntu na filtratsiynu zdatnist [Influence of soil structure on its filtrational ability]. Visnyk agrarnoy nauky 3, 5–8 (in Ukrainian).
- Medvedev, V. V., Laktionova, T. N., Pocheptsova, L. G., Lysogubov, V. A., Romaschenko, M. I., Korjunenkov, V. N., Rjabkov, S. V., Usatyi, S. V., 2003. Osobennosti formirovaniia vertikalnykh vodnykh potokov v chernozeme tipichnom [Features of formation of vertical water streams in

- chernozem typical]. Visnyk KhNAU. Soil Science 1, 37–43 (in Russian).
- Medvedev, V. V., Lyndina, T. E., Laktionova, T. N., 2004. Plotnost slozheniia pochv. Geneticheskij, ekologicheskij i agronomicheskij aspekt [Soil bulk density. Genetic, ecological and agronomy aspects]. 13 printing house, Kharkiv (in Russian).
- Medvedev, V. V., Tsybulko, V. G., 1982. Vliianie orosheniia na izmenenie fizicheskikh i fiziko-mekhanicheskikh svojstv chernozemnykh pochv [The impact of irrigation on dynamic of physical-mechanical properties of chernozemic soils]. Melioratsiia pochv Russkoj ravniny. Science, Moscow, 81–87 (in Russian).
- Osnovy agrofiziki, 1959 [Background of agro-physics]. Editors A. F. Ioffe and I. B. Revut. Physmatgis, Moscow (in Russian).
- Pereuplotnenie pakhotnykh pochv. Prichiny, sledstviia, puti umensheniia, 1987 [Overcompaction of arable soils. The reasons, consequences, ways of reduction]. Editor V. A. Kovda. Science, Moscow (in Russian).
- Polupan, M. I., Solovej, V. B., Velichko, V. A., 2005. Klasifikatsiia gruntiv Ukrainy [Classification of soils for the Ukraine]. Agrarian science, Kyiv (in Ukrainian).
- Russkij chernozem. 100 let posle Dokuchaeva, 1983 [Russian chernozem. 100 years after Dokuchaev]. Editors V. A. Kovda, E. M. Samojlova. Science, Moscow (in Russian).
- Tichonenko, D. G., 2012. Uchennia pro budovu grun-tovogo pokryvu [Doctrine on soil cover structure]. Agriuniversity named V. V. Dokuchaev, Kharkiv (in Ukrainian).

Стаття надійшла в редакцію: 26.01.2016

THEORETICAL AND PRACTICAL ISSUES OF SOIL SCIENCE



S. G. Chorny[✉]
D. A. Abramov

Dr. Sci. (Agri.), Professor

UDK 631.417.2: 528.8.042.3

*Mykolayiv National Agrarian University,
Paryska Komuna str., 9, Mykolayiv, Ukraine, 54020*

THE MONITORING OF SOUTHERN CHERNOZEM SOIL HUMUS CONTENT WITH USING MULTISPECTRAL SATELLITE IMAGES LANDSAT: SPATIAL AND TEMPORAL ASPECTS

Abstract. For rational use of soils it is necessary to possess exact information on soil properties. The traditional methods of monitoring of soils and (or) their separate properties based on local, one-time supervision don't give an adequate assessment of a current state of a soil cover it should be noted. Transition to spatio-temporal methods with use of modern geoinformation and space technologies is necessary. Remote satellite methods of soil monitoring gain fast distribution, owing to the efficiency, a certain objectivism and relative low cost now, and also because of unique opportunities of one-time coverage by the images received from big height, enough territories, big on the area. For the development of remote monitoring chernozems southern used materials of multispectral scanning multispectral camera ETM+ («Enhanced Thematic Mapper Plus»), which is on board the satellite «Landsat-7» (data of 2006, 2010, 2012) and OLI («Operational Land Imager»), which is on board the satellite «Landsat-8»(data 2015).

The information obtained from them is unified from the point of view of preservation of geometry, calibration, a covering, spectral characteristics, quality of the image and availability of data, despite various carriers of devices ETM+ and OLI. The composite image which has been received from three cloudless satellite images of spring of 2012 (three terms of shooting – 21.04, 30.04, 05.05) has allowed to make the correlation analysis of extent of influence of maintenance of organic matter in a layer of soil of 0–10 cm at a brightness with various spectral channels of the camera ETM+. Such analysis has shown that the closest connection exists between the content of soil organic matter and brightness of the second (green), the third (red) and the fourth (the neighbor infrared) spectral channels. From them three, the greatest value of correlation has dependence between the content of soil organic matter (humus) and brightness of the red spectral channel ($r=0,32$). For the purpose of spatio-temporal interpretation of the equation of multiple regressions, 20 agro landscapes in different parts of the Right-bank steppe of Ukraine (The Mykolayiv district and Zhovtnevy district of the Mykolayiv oblast) have been selected. For each agro landscapes was defined content of soil organic matter in the soil using Landsat 7 satellite images taken in 2006 and in 2010 and Landsat images 8 for 2015.

The made estimates of maintenance of soil organic matter have shown on processes of fast loss of humus in all layers of soil. Annual losses of soil organic matter in a layer of 0–10 cm from 2006

✉ Tel.: + 38097-449-35-87, e-mail: s.g.chorny@gmail.com

DOI: 10.15421/041602

for 2015 have made 0,16 % in a year, in a layer of 0–50 cm of about 0,13 % in a year, and in a layer of 0–100 cm at 0,10 % in a year. The irrational structure of sown areas and distribution of wind and water erosion processes is the reason of this sad process.

Keywords: *monitoring of soils, chernozem, multispectral scanning, humus, loss of soil organic matter.*

УДК 631.417.2:
528.8.042.3

С. Г. Черный
Д. А. Абрамов

д-р с.-х. наук, проф.

*Николаевский национальный аграрный университет,
ул. Парижской Коммуны, г. Николаев, Украина, 54020,
тел.: +38097-449-35-87, e-mail: s.g.chornyuy@gmail.com*

МОНИТОРИНГ СОДЕРЖАНИЯ ГУМУСА В ЧЕРНОЗЕМЕ ЮЖНОМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МНОГОСПЕКТРАЛЬНЫХ СНИМКОВ СПУТНИКОВ LANDSAT: ПРОСТРАНСТВЕННЫЕ И ВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ

Аннотация. Разработана методика дистанционного определения содержания гумуса в черноземах южных тяжелосуглинистых Правобережной степи Украины с помощью многоспектральных спутниковых изображений «Landsat 7» и «Landsat 8». Было определено, что наиболее тесная статистическая связь существует между содержанием гумуса и яркостями зеленого, красного и ближнего инфракрасного каналов. Сделанные пространственные и временные оценки содержания гумуса показывают на процессы усиленной дегумификации почв региона.

Ключевые слова: *почвенный мониторинг, чернозем, многоспектральное сканирование, гумус, дегумификация.*

УДК 631.417.2:
528.8.042.3

С. Г. Чорний
Д. А. Абрамов

д-р с.-г. наук, проф.

*Миколаївський національний аграрний університет,
вул. Паризької Комуни, м. Миколаїв, Україна, 54020,
тел.: +38097-449-35-87, e-mail: s.g.chornyuy@gmail.com*

МОНИТОРИНГ ВМІСТУ ГУМУСУ У ЧОРНОЗЕМІ ПІВДЕННОМУ З ВИКОРИСТАННЯМ БАГАТОСПЕКТРАЛЬНИХ ЗНІМКІВ СУПУТНИКІВ LANDSAT: ПРОСТОРОВІ ТА ТИМЧАСОВІ АСПЕКТИ

Анотація. Розроблена методика дистанційного визначення вмісту гумусу в важкосуглинкових південних чорноземах Правобережного степу України за допомогою багатоспектральних супутникових зображень «Landsat 7» та «Landsat 8». Було визначено, що найбільш тісний статистичний зв'язок існує між вмістом гумусу та яскравостями зеленого, червоного та ближнього інфрачервоного каналів. Були зроблені просторові та часові оцінки вмісту гумусу, які показують на процеси посиленої дегуміфікації ґрунтів регіону.

Ключові слова: *ґрунтовий моніторинг, чорнозем, багатоспектральне сканування, гумус, дегуміфікація.*

ВСТУП

Для раціонального використання ґрунтів необхідно володіти точною інформацією про їх стан. Слід зазначити, що традиційні методи моніторингу ґрунтів і (або) їх окремих властивостей, засновані на локальних, одноразових спостереженнях не дають адекватної оцінки сучасного стану ґрунтового покриву (Medvedev, 2002). Давно назрів перехід до просторово-часових методів з використанням сучасних геоінформаційних та аерокосмічних технологій. Останні отримують зараз швидке поширення, внаслідок своєї оперативності, певного об'єктивізму та відносної дешевизни, а також в силу унікальних можливостей разового охоплення зображеннями, отриманими з великої висоти, досить великих за площею територій.

Важливою складовою ґрунтового моніторингу є контролювання вмісту органічної речовини. Особливий інтерес до моніторингу ґрунтового гумусу полягає не тільки в широко відомій винятковій ролі гумусу в родючості, а й у сучасних процесах дегуміфікації. Наземні дослідження, наведені в роботі (Chornyy et al., 2007), демонструють факт інтенсивної втрати органічної речовини з ґрунтів Степу України, що, в сучасних господарських умовах, пояснюється зниканням зі структури посівних площ багаторічних трав, бобових культур, скороченням норм органічних добрив, інтенсифікацією водної та вітрової ерозії ґрунтів.

Аналіз низки літературних джерел показує, що найбільш перспективним методом моніторингу вмісту гумусу є багатоспектральне сканування (БСС) поверхні ґрунту за допомогою спеціальної апаратури, розташованої на борту космічних апаратів. Для різних ґрунтів Світу в різні роки були вираховані статистичні зв'язки між вмістом гумусу в верхньому шарі та значеннями яскравостей в певних частинах спектру.

Зокрема, згідно з результатами роботи А. Б. Ачасова і Д. І. Бідолаха (Achasov, Bidolah, 2008), вміст гумусу найтісніше пов'язаний зі значеннями яскравості в червоній частині спектра знімка ($r=0,74$), отриманого камерою КФА-1000 супутника «Ресурс Ф1». А. В. Шатохін і М. А. Линдін (Shatohin, Lyndin, 2001), які об'єктом дослідження вибрали чорноземи звичайні Донецької області, при використанні спектрального сканування космічного апарату SPOT, встановили, що між вмістом гумусу в верхньому шарі ґрунту і яскравістю в ближньому інфрачервоному спектрі існує досить тісна залежність ($r=0,94$). А. І. Сахацький (Sakhatskyu, 2008) наводить результати, за даними БСС камери ЕТМ, що знаходиться на супутнику Landsat 7 в межах тестових ділянок на ґрунтах Чернігівської і Хмельницької областях України. Статистична обробка даних показала на лінійну кореляційну залежність між спектральними характеристиками в червоному спектрі ($r=0,95$) і ближньому інфрачервоному спектрі ($r=0,85$) з середнім вмістом гумусу.

Дослідження субтропічних ґрунтів Східного Китаю показали (Wu et al., 2009), що вміст органічної величини мав помірну негативну кореляцію з яскравістю у видимій області спектра даних БСС камери ЕТМ+, що знаходиться на супутнику Landsat (зелений, блакитний та червоні частини спектру) та у дальній короткохвильовій інфрачервоній області, а також низьку позитивну кореляцію у ближній інфрачервоній спектральній області. Автори констатують про неможливість створення системи спостереження за вмістом органічної речовини за допомогою дистанційного зондування.

Для вилугуваних чорноземів Краснодарського краю Російської федерації було отримано статистично достовірне множинне лінійне рівняння залежності вмісту гумусу від спектральної яскравості у ближньому інфрачервоному діапазоні, червоному, зеленому та середньому інфрачервоному діапазоні БСС, отриманого SPOT (Malyshevskij, 2013).

Слід зазначити, що цитовані вище автори, а також інші спеціалісти, які вивчають можливості використання БСС поверхні ґрунтів для визначення вмісту гумусу неконтактними методами, констатують деякі обмеження щодо впровадження таких технологій. Зокрема (Wu et al., 2009), ґрунт повинен перебувати у повітряно-сухому стані, шорсткість поверхні повинна бути мінімальною, а на поверхні ґрунту повинна бути відсутня рослинність та (або) рослинні рештки. Існує також думка (Sullivan et al., 2005), що стійкі зв'язки між вмістом гумусу та яскравостями в певних частинах спектру може існувати лише при середньому та високому вмісту органічної речовини (1–5 %), а в умовах низького вмісту гумусу в ґрунті таких залежностей не спостерігається.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для розробки методів моніторингу чорноземів південних використовували матеріали БСС багатоспектральної камери ЕТМ+ («Enhanced Thematic Mapper Plus»), яка знаходиться на борту супутника «Ландсат-7» (данні 2006, 2010,

2012 років) та OLI («Operational Land Imager»), яка знаходиться на борту супутника «Ландсат-8» (данні 2015 року). Попри різні носії пристроїв ETM+ та OLI інформація, що отримується з них уніфікована з точки зору збереження геометрії, калібрування, покриття, спектральних характеристик, якості зображень і доступності даних.

БСС, яке здійснюється 1–7 каналами багато спектральної камери ETM+ та 2–8 каналами пристрою OLI, реалізується у семи частинах спектра (спектральних каналах). Виходячи з літературних даних для гумусового моніторингу з цієї точки зору найбільш інформативними є шість: блакитна частина спектру – 0,45–0,52 мкм, зелена – 0,53–0,60 мкм, червона – 0,63–0,68 мкм, ближня інфрачервона – 0,78–0,90 мкм (у ETM+) та 0,85–0,89 мкм (у OLI), середня інфрачервона – 1,55–1,75 мкм (у ETM+) та 1,56–1,66 мкм (у OLI) та дальня інфрачервона – 2,09–2,35 мкм (у ETM+) і 2,10–2,30 мкм (у OLI). Елементарна просторова одиниця (піксель на екрані дисплея), з якої ETM+ та OLI отримує дані по кожному з каналів, дорівнює на місцевості квадрату в 30×30 м або 0,09 га. Зображення представлені на сервері Геологічної служби США (USGS) (www.glovis.usgs.gov) з попередньою програмною обробкою на виключення впливу властивостей атмосфери на показники яскравостей в кожному спектральному каналі. Цей важливий аспект впливає на інтерпретацію даних, які отримуються при використанні зображень з камер ETM+ та OLI. Уніфікація атмосферних впливів на яскравості дозволяє коректно порівнювати між собою супутникові зображення, які були отримані в різні терміни в середині року.

Кількісне визначення величини яскравості по кожному каналу в кожному пікселі здійснювалося за допомогою спеціального програмного забезпечення – ENVI 4.8.

Для отримання базової статистичної залежності оцінки гумусового стану чорнозему південного використовувалися безхмарні супутникові знімки весни 2012 року (три терміни знімання – 21.04, 30.04, 05.05). Для просторово-часової інтерпретації отриманих даних, використовувалися зображення зроблені в 2006 році (терміни знімання – 08.10) в 2010 році (терміни знімання – 24.09) та у 2015 році (терміни знімання – 23.09). Слід зазначити, що при роботі з інформацією з пристрою ETM+ слід враховувати той факт, що можлива повна або часткова втрата даних при попаданні на об'єкти дослідження можливих дефектів супутникових зображень (так званих «чорних смуг»), пов'язаних з помилками в роботі Лінійного сканувального коректора (Scan Line Corrector або SLC) камери ETM+. Ці пробої або розриви в зображеннях («gaps» – в англійській літературі (Beck, 2003; Williams et al., 2005)) істотно ускладнюють використання знімків при дешифруванні і потребують створення одного «композитного» зображення з кількох приблизно однотермінових зображень з чорними смугами.

Аналіз структури посівних площ регіону показав, що кінець березня – початок травня, а також вересень – жовтень є найбільш сприятливим періодом для дистанційного зондування поверхні ґрунту агроландшафтів, оскільки в цей період ґрунт максимально непокритий сільськогосподарською рослинністю. В той же час, для кожного пікселя наявність (або відсутність) рослинних залишків, сільськогосподарської рослинності і бур'янів на поверхні ґрунтів визначався за допомогою розрахунку так званого вегетаційного індексу NDVI (Wu et al., 2009). Він ідентифікується за значеннями яскравості червоного спектрального каналу і ближнього інфрачервоного:

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

де *NIR* – значення яскравості ближнього інфрачервоного каналу; *RED* – значення яскравості червоного каналу.

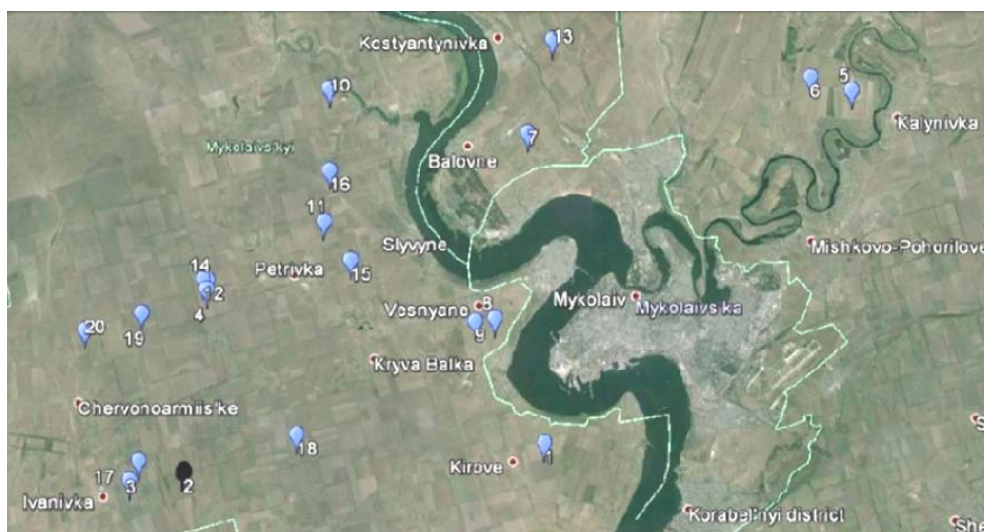
Згідно з джерелом (Wu et al., 2009), якщо значення вегетаційного індексу менше ніж 0,15, то вважається, що поверхня ґрунту не має розвинутого рослинного покриття та не покрита рослинними рештками і значення яскравостей різних каналів характеризують лише оптичний стан поверхні ґрунту.

Крім цього, при визначенні термінів знімання, слід враховувати метеорологічні особливості цього періоду, що робиться для визначення стану поверхневого шару ґрунту. Аналіз архівів метеорологічних даних по метеостанції Миколаїв, яка є найближчою до району досліджень, показав, що напередодні часу отримання супутникової інформації у 2006, 2010, 2012 та 2015 роках значних опадів не спостерігалось, а температури повітря були досить високими, що дає змогу констатувати про високу ймовірність повітряно-сухого стану ґрунту.

З ґрунтових розрізів та прикопок були відібрані зразки ґрунту, в яких потім у п'ятикратній повторності визначалося вміст гумусу за методом Тюріна (національний стандарт ДСТУ 4289-2004). З метою точної ідентифікації місць проведення ґрунтових досліджень на супутникових багато спектральних зображеннях здійснювалась просторова прив'язка прикопок і розрізів здійснювалась за допомогою GPS-навігатора фірми «Garmin» GPSMAP 60Cx. Статистичний аналіз даних проводився за допомогою програмного пакету Excel, що входить до складу стандартного набору Microsoft Office.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Як базову тестову ділянку використовувалися землі ННВЦ (навчально-науково-виробничого центру) Миколаївського національного аграрного університету (МНАУ), які розташовані в Миколаївському районі Миколаївської області, в зоні Південного Степу України. Координати північно-східного кута полів ННВЦ – 46°56'56,5'' п.ш., 31°42'56,5'' с.д. (рисунк). Ґрунтовий покрив полів ННВЦ представлений чорноземами південними важкосуглинковими на лесах різного ступеня еродованості.



Розташування досліджених агроландшафтів

Номера біля позначень збігаються з нумерацією в табл. 2. Позначення чорним кольором – агроландшафти ННВЦ МНАУ.

На площі понад 1000 га було відібрано 50 зразків ґрунту, в яких був визначений вміст гумусу. Ґрунтові аналізи відібраних зразків показали, що на землях ННВЦ МНАУ в шарі 0–10 см вміст гумусу коливається у межах 3,54 %–6,71 % при середньому значенні 4,71 %. Головною причиною таких великих коливань вмісту гумусу є висока комплексність ґрунту в результаті інтенсивної водної та вітрової ерозії. Згідно дослідженням ґрунтового покриття господарства було визначено, що еродовані варіанти складають приблизно 40 % (438 га) від всієї площі.

Композитне зображення, отримане з трьох безхмарних супутникових знімків весни 2012 року (три терміни знімання – 21.04, 30.04, 05.05), дозволило зробити кореляційний аналіз впливу вмісту гумусу в шарі ґрунту 0–10 см на яскравість за різними спектральними каналами камери ETM+ (табл. 1). Такий аналіз показав, що найтісніший зв'язок існує для другого (зеленого), третього (червоного) та четвертого (ближній інфрачервоний) спектральних каналів. З них трьох, найбільше значення кореляції має червоний спектральний канал ($r=-0,32$). Приблизно однакові значення коефіцієнтів кореляції між вмістом гумусу і значеннями яскравості трьох спектральних каналів показує на можливість переходу до рівняння множинної регресії. Розрахунки показали, що вміст гумусу в шарі залежить від яскравостей цих трьох каналів наступним чином:

$$H_{0-10} = 0.15 \times \text{Green} - 0.14 \times \text{Red} + 0.08 \times \text{NIR} + 8.27 \quad (2)$$

де H_{0-10} – вміст гумусу в шарі 0–10 см; *Green* – значення яскравості зеленого каналу; *Red* – значення яскравості червоного каналу; *NIR* – значення яскравості ближнього інфрачервоного каналу. Коефіцієнт кореляції рівняння складає 0,53.

Таблиця 1

Кореляційний зв'язок між вмістом гумусу у шарі 0–10 см і спектральною яскравістю чорноземів південних

Номер спектрального каналу	Коефіцієнт кореляції, r	Коефіцієнт детермінації, r^2
1	-0,208	0,043
2	-0,239	0,057
3	-0,318	0,101
4	-0,225	0,0508
5	-0,0208	0,0004
7	0,016	0,00025

Коефіцієнт кореляції регресії вказує на значний зв'язок між H_{0-10} і яскравістю трьох спектральних каналів, включених у кореляційну модель. Стандартна помилка дорівнює 0,65. В ході перевірки гіпотези про відсутність зв'язку між H_{0-10} і спектральною яскравістю трьох спектральних каналів, за ступенів свободи $k_1=3$, $k_2=46$, та заданому рівні значущості 0,05, встановлено, що критичне значення критерію Фішера складає $F_{0,05}=2,8$. Розрахункове значення критерію Фішера $F_{\text{спост}}=5,98$, що означає відкидання гіпотези про відсутність зв'язку між H_{0-10} і спектральною яскравістю трьох спектральних каналів, оскільки $F_{0,05} < F_{\text{спост}}$. Таким чином, регресійна модель є статистично значущою. Практичне значення рівняння (2) пов'язано з можливістю проведення просторових оцінок гумусового стану земель та розрахунків темпів гуміфікації темпів дегуміфікації ґрунтів.

Що стосується просторових оцінок вмісту гумусу, то треба мати на увазі, що рівняння (2) описує дуже конкретні ґрунти. А саме, чорнозем південний важкосуглинковий. А тому просторова інтерпретація може бути поширена лише на аналогічні ґрунти в межах Правобережного степу України.

Слід також зауважити, що залежність (2) отримана для шару ґрунту в 0–10 см. Для просторової і часової інтерпретації цієї залежності більш показовим буде вміст гумусу в шарі ґрунту 0–50 та 0–100 см. Спеціально проведені дослідження щодо розподілу вмісту гумусу в важко суглинкових південних чорноземів регіону показало, що між вмістом гумусу в шарі 0–10 см та вмістом гумусу в шарі ґрунту 0–50 та 0–100 см існують досить надійні залежності. Аналітично це описується наступними рівняннями:

$$H_{0-50} = 0.84 \times H_{0-10}, \quad (3)$$

$$H_{0-100} = 0.61 \times H_{0-10}, \quad (4)$$

де H_{0-50} та H_{0-100} – вміст гумусу у шарі ґрунту відповідно в шарі ґрунту 0–50 см та 0–100 см; H_{0-10} – вміст гумусу в шарі 0–10 см. Коефіцієнт детермінації (r^2) взаємозв'язку перемінних, що має вираз у рівнянні (3) дорівнює 0,96, а рівняння (4) – 0,86.

З метою просторово-часової інтерпретації рівняння (2) були цілком випадково відібрані 20 агроландшафтів у різних частинах Правобережного степу України (Миколаївський та Жовтневий район Миколаївської області (рисунк)). По кожному полю, за залежностями (2, 3, 4), був визначений вміст гумусу з використанням супутникових зображень Landsat 7, зроблених у 2006 році та у 2010 році і знімків Landsat 8 для 2015 року. У центрі кожного поля був обраний контур приблизно в 10–20 пікселів, що відповідає на місцевості площі ділянки в 1–4 га, із значенням індексу NDVI менше ніж 0,15. Координати центру такої ділянки приведені в табл. 2.

Розрахунки показали (табл. 1), що тільки в одному випадку спостерігалось зростання вмісту гумусу, як у шарі ґрунту 0–10, так і в товщі ґрунту 0–50 см та 0–100 см. В інших випадках спостерігалось лише зниження вмісту гумусу. В середньому за 9 років, з 2006 до 2015, щорічні втрати гумусу становили 0,16 %, причому в перші чотири лише 0,08 %, а в наступні 5 років уже 0,21 %. В шарі 0–50 см щорічні втрати гумусу склали приблизно 0,13 %, а в шарі ґрунту 0–100 см – біля 0,10 % за рік. В цілому ці дані приблизно збігаються з наземними спостереженнями за змінами у вмісті органічної величини у ґрунті регіону (Boyko, Chornyy, 2001; Chornyy et al., 2007).

Таблиця 2

Значення параметрів рівняння (1) та вміст гумусу по трьом термінам визначення

№	Роки	Значення NIR	Значення Red	Значення Green	Координати, п. ш., сх. д.	Вміст гумусу в шарі ґрунту, %		
						0–10 см	0–50 см	0–100 см
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2006	31	30	25	46,90235, 31,92422	5,34	4,49	3,26
	2010	34	30	26		5,25	4,41	3,20
	2015	34	65	60		5,45	4,58	3,32
2	2006	32	27	24	46,90223, 31,6808	5,53	4,65	3,37
	2010	38	36	29		4,54	3,81	2,77
	2015	60	87	78		2,99	2,51	1,82
3	2006	29	27	24	46,908912, 31,65109	5,77	4,85	3,52
	2010	39	34	28		4,59	3,86	2,80
	2015	55	94	86		3,61	3,03	2,20
4	2006	37	32	27	46,985137, 31,705984	4,88	4,10	2,98
	2010	38	37	30		4,55	3,82	2,78
	2015	51	87	76		3,41	2,86	2,08
5	2006	31	28	24	47,052198, 32,150311	5,47	4,59	3,34
	2010	37	35	29		4,76	4,00	2,90
	2015	45	72	64		4,19	3,52	2,56
6	2006	32	30	26	47,059824, 32,123326	5,41	4,54	3,30
	2010	35	33	27		4,90	4,12	2,99
	2015	41	72	64		4,51	3,79	2,75
7	2006	40	31	27	47,044953, 31,93005	4,78	4,02	2,92
	2010	34	30	27		5,40	4,54	3,29
	2015	47	81	71		3,82	3,21	2,33
8	2006	30	27	24	46,961227, 31,897808	5,69	4,78	3,47
	2010	31	29	26		5,63	4,73	3,43
	2015	43	77	69		4,4	3,70	2,68
9	2006	32	27	24	46,960558, 31,884415	5,53	4,65	3,37
	2010	32	28	25		5,54	4,65	3,38
	2015	55	98	100		5,15	4,33	3,14

Закінчення табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	2006	30	26	23	47,07254, 31,79910	5,68	4,77	3,46
	2010	33	32	27		5,2	4,37	3,17
	2015	47	80	68		3,51	2,95	2,14
11	2006	29	26	24	47,011954, 31,788223	5,91	4,96	3,61
	2010	32	31	26		5,27	4,43	3,21
	2015	39	73	65		4,68	3,93	2,85
12	2006	37	30	26	46,989703, 31,703901	5,01	4,21	3,06
	2010	39	36	32		4,91	4,12	3,00
	2015	55	91	78		2,83	2,38	1,73
13	2006	32	28	25	47,086728, 31,951743	5,54	4,65	3,38
	2010	28	26	24		5,99	5,03	3,65
	2015	46	78	69		4,02	3,38	2,45
14	2006	36	30	27	46,989194, 31,706675	5,24	4,40	3,20
	2010	36	33	29		5,12	4,30	3,12
	2015	53	89	85		4,32	3,63	2,64
15	2006	28	27	24	46,993222, 31,804035	5,85	4,91	3,57
	2010	36	33	28		4,97	4,17	3,03
	2015	35	75	62		4,27	3,59	2,60
16	2006	31	28	24	47,03497, 31,79481	5,47	4,59	3,34
	2010	32	30	25		5,26	4,42	3,21
	2015	45	79	68		3,81	3,20	2,32
17	2006	28	26	24	46,900457, 31,64382	5,99	5,03	3,65
	2010	31	27	24		5,61	4,71	3,42
	2015	72	96	98		3,77	3,17	2,30
18	2006	29	27	24	46,915256, 31,758492	5,77	4,85	3,52
	2010	35	30	27		5,32	4,47	3,25
	2015	47	73	64		3,89	3,27	2,37
19	2006	32	27	25	46,976519, 31,660832	5,68	4,77	3,46
	2010	34	30	27		5,4	4,54	3,29
	2015	74	110	115		4,2	3,53	2,56
20	2006	36	30	27	46,970658, 31,621933	5,24	4,40	3,20
	2010	37	35	29		4,76	4,00	2,90
	2015	38	70	66		5,33	4,48	3,25
Середнє	2006			5,49	4,61	3,35		
	2010			5,17	4,34	3,15		
	2015			4,04	3,40	2,47		

Отже, дистанційні спостереження за вмістом гумусу та розрахунки за залежностями (2–4) вказують на посилену деградацію ґрунтового покриву регіону, що пов'язано з нераціональною структурою посівних площ регіону, поширенням процесів вітрової та водної ерозії.

ВИСНОВКИ

Розроблена методика дистанційного визначення вмісту гумусу в важко суглинкових південних чорноземах Правобережного степу України за допомогою багато спектральних супутникових зображень «Landsat 7» та «Landsat 8». Було визначено, що найбільш тісним є зв'язок між вмістом гумусу і яскравостями зеленого, червоного та ближнього інфрачервоного каналів. Зроблені просторові та часові оцінки вмісту гумусу показують на процеси посиленої дегуміфікації у всіх шарах ґрунту. Щорічні втрати гумусу в шарі 0–10 см за період з 2006 по 2015 роки склали 0,16 %, в шарі 0–50 см приблизно 0,13 %, а в шарі ґрунту 0–100 см – біля 0,10 % за рік. Причиною цього процесу є нераціональна структура посівних площ регіону та поширенням процесів вітрової та водної ерозії.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

- Achasov, A. B., Bidolah, D. I., 2008. Ispolzovanie materialov kosmicheskoy i nazemnoy tsifrovoy fotosemok dlya opredeleniya soderzhaniya gumusa v pochvah [Use of materials space and land digital photographings for determination of content of a humus in soils]. Eurasian Soil Science 3, 280–286 (in Russian).
- Beck, R., 2003. Scan Line Corrector-off Products Available. Landsat Project News. October/November 2003. http://landsat.usgs.gov/project_news/october_november_2003.php
- Boyko, M. F., Chornyy, S. G., 2001. Ekolohiya Khersonshchyny. Navchalnyy posibnyk [Ecology Kherson region. Manual]. Terra, Kherson (in Ukrainian).
- Chornyy, S. G., Lyubartsev, V. M., Chorna, T. M., 2007. Monitorynh vmistu humusu v gruntakh Mykolayivs'koyi oblasti: prostorovo-chasovi aspekty [Monitoring humus content in soils of Mykolayiv region: spatio-temporal aspects]. Proceedings of PDATU 15, 34–37 (in Ukrainian).
- Malyshevskij, V. A., Fedulov, Ju. P., Ostrovskij, N. V., Lebedovskij, I. A., 2013. Raschet soderzhaniya gumusa s ispol'zovaniem dannyh distancionnogo zondirovaniya Zemli [Calculation of maintenance of humus with use of data of remote sensing of Earth]. Scientific magazine KubSAU 92(08), 1–11 (in Russian).
- Medvedev, V. V., 2002. Monitoring pochv Ukrainy. Konceptija, predvaritel'nye rezultaty, zadachi [Monitoring of soils of Ukraine. Concept, preliminary results, tasks]. City printing house, Kharkiv (in Russian).
- Sakhatsky, O. I., 2008. Dosvid vykorystannya suputnykovykh danykh dlya otsinky stanu gruntiv z metoyu rozvyazannya pryrodoresursnykh zadach [Experience of using satellite data for the assessment of soil to resolve natural-resource problems]. Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine 3, 109–115 (in Ukrainian).
- Shatohin, A. V., Lyndin, M. A., 2001. Soprazhennoe izuchenie chernozemov Donbassa nazemnymi i distancionnymi metodami [The interfaced studying of chernozems of Donbass by land and remote methods]. Eurasian Soil Science 9, 1037–1044 (in Russian).
- Sullivan, D. G., Shaw, J. N., Rickman, D., Mask, P. L., Luvall, J. C., 2005. Using remote sensing data to evaluate surface soil properties in Alabama ultisols. Soil Sci. 170(12), 954–968.
- Williams, D. L., Goward, S., Arvidson, T., 2006. Landsat: Yesterday, Today and Tomorrow. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing 72(10), 1171–1178.
- Wu, C., Wu, J., Luo, Y., Zhang, L., D. DeGloria, S., 2009. Spatial Prediction of Soil Organic Matter Content Using Cokriging with Remotely Sensed Data. Soil Sci. Soc. Am. J. 73(4), 1202–1208.

Стаття надійшла в редакцію: 28.01.2016

THEORETICAL AND PRACTICAL ISSUES OF SOIL SCIENCE



Y. M. Dmytruk ✉

Dr. Sci. (Biol.), Professor

UDK 546.34: 631.416

*Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University,
Kotsubinsky Str., 2, Chernivtsi, Ukraine, 58012*

ECOLOGICAL-EVOLUTIONARY ANALYSIS OF LITHIUM CONTENT IN SOILS

Abstract. The point is that investigation of geochemistry and behavior of Lithium in Ukraine's soils is been rather exceptional. We have analyzed the content of Lithium in soils: modern and buried under the ramparts of various ages. The research territory includes Prut-Dniester and Prut-Siret interfluvial. Most often there are Phaeozems (Luvic Phaeozem, or Mollic Gleysol or Eutric Gleysol) and Chernozems (Luvic Chernozem or Chernic Chernozem). Buried soils are located directly near the modern background soils, so the differences between them are the result of evolution of the background soils during burial (the screening) after the construction of ramparts.

On the Podvirna site current landscapes are wood and meadow-steppe; in the past, subboreal stage, were probably closer to the steppe; buried soil – Chernozem typical with a little profile, in the modern of soil structure prevails Luvic Phaeozem. The sites Ridkivtsi and Grushivka are characterized forest landscapes and in the past on those areas dominated wood-meadow landscapes. At present prevailing types of soils are Phaeozems or Gleysol.

Soil samples have taken for the genetic horizons. After drying and preparing of soils in them had performed analytical determination of total content (Nitrate extract, followed by evaporation of hydrogen peroxide) of Lithium and its mobile forms (ammonium acetate-extract with pH = 4,8). The results of analyzes had processed by using statistical and mathematical testing based on the program «Statistica 6.0».

Our obtained results are indicating background of total Lithium content, which ranges from 8,70 to 33,5 mg·kg⁻¹ and its average amount was 22,3±6,01 mg·kg⁻¹; amplitude quantity of Lithium mobile forms is between 0,20 to 2,60 mg·kg⁻¹, with an average content of 0,60±0,57 mg·kg⁻¹. The mean of total Lithium content of all soils with buried soils in particular are decreased from Podvirna site (27,4 mg·kg⁻¹) to the site Ridkivtsi (22,8 and 26,3 mg·kg⁻¹, accordingly) and site Grushivka (20,0 and 19,1 mg·kg⁻¹, accordingly), while the number of mobile forms changed significantly from substantial Podvirne hospital (1,43 mg·kg⁻¹) to the hospital Grushivka (0,83 and 0,91 mg·kg⁻¹, respectively) and hospital Ridkivtsi (0,44 and 0,79 mg·kg⁻¹, appropriately). In the majority of background soils we had discovered humus-eluvial-illuvial redistribution, sometimes - eluvial-illuvial redistribution. It is important to know that we had not observed high Lithium content in the parent rock of soils (except for two sections of the site Ridkivtsi with discussion rather recognition of the parent rock of the profile). This is demonstrating the determining influence of pedogenesis on the redistribution of chemical elements in the of soils. Actually, Lithium has often accumulated in the

✉ Tel.: +38066-612-49-50, e-mail: y.dmytruk@chnu.edu.ua

DOI: 10.15421/041603

upper humus horizons (as a result of the impact of organic matter and of soil biota as a whole) or in the horizons of clay accumulation. To crown it all pedogenesis fundamentally has changing features of the vertical distribution of Lithium content. Concerning future research is necessity of application of isotopic analysis to identify the characteristics of different ages soils.

Keywords: *Lithium, soil, modern and buried, total content, mobile form, soil profile.*

УДК 546.34: 631.416

Ю. М. Дмитрук

д-р биол. наук, проф.

Черновицкий национальный университет им. Ю. Федьковича,

ул. Коцюбинского, 2, г. Черновцы, Украина, 58012,

тел.: +38066-612-49-50, e-mail: y.dmytruk@chnu.edu.ua

ЭКОЛОГО-ЭВОЛЮЦИОННЫЙ АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ЛИТИЯ В ПОЧВАХ

Аннотация. Территория исследования включает Прут-Днестровское и Прут-Сиретское междуречья, где преобладают серые лесные почвы (включая светло-серые и темно-серые), а также черноземы оподзоленные. Погребенные под земляными валами разного возраста почвы размещены непосредственно на стационарах исследования: Грушивка, Ридкивцы и Подвирна. На предыдущем этапе эволюции здесь были близкие к степным условия, поэтому погребенная почва – чернозем типичный, тогда, как на стационарах Грушивка и Ридкивцы преобладали лесные и лесостепные ландшафты с соответствующими почвами. Аналитическое определение валовых форм лития проводили на основании азотнокислой вытяжки, а подвижных форм – ацетатно-аммонийного буфера с pH=4,8. Полученные результаты свидетельствуют о фоновом количестве лития: валового – $22,3 \pm 6,01$ (от 8,70 до 33,5 мг/кг), подвижных форм – $0,60 \pm 0,57$ (от 0,20 до 2,60 мг/кг). Литий чаще аккумулируется в верхних гумусовых или в иллювиальных горизонтах. Ключевое влияние на профильное распределение лития имеют современные почвообразующие процессы.

Ключевые слова: *литий, почва, современная и погребенная, валовое содержание, содержание подвижных форм, почвенный профиль.*

УДК 546.34: 631.416

Ю. М. Дмитрук

д-р біол. наук, проф.

Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича,

вул. Коцюбинського, 2, м. Чернівці, Україна, 58012,

тел.: +38066-612-49-50, e-mail: y.dmytruk@chnu.edu.ua

ЭКОЛОГО-ЕВОЛЮЦИОННЫЙ АНАЛИЗ ВМЕСТУ ЛИТИУ У ҐРУНТАХ

Анотація. Проведені еколого-еволюційні дослідження вмісту літію у різновікових ґрунтах. Дані про кількість цього металу у ґрунтах можуть застосовуватися не тільки для характеристики його геохімії, але й для індикації та реконструкції умов ґрунтогенезу на попередніх етапах еволюції. Як валовий вміст, так і кількість рухомих форм літію є фоновими ($22,3 \pm 6,01$; від 8,70 до 33,5 мг/кг – валовий вміст, рухомі форми – $0,60 \pm 0,57$; від 0,20 до 2,60 мг/кг). Профільний розподіл літію за генетичними горизонтами виявляє особливий вплив процесів ґрунтогенезу, а горизонтами накопичення цього металу є верхні гумусові та ілювіальні (з підвищеним вмістом мулу).

Ключові слова: *літій, ґрунт, сучасний фоновий та похований, валовий вміст, вміст рухомих форм, профіль ґрунту.*

ВСТУП

У наукових колах переважало думка, що зміни в ґрунтах у процесі планетарної динаміки клімату та відповідних перемін в біогеохімічних циклах відбуваються за двома основними напрямками – для біотичної (мікробіологічні процеси, динаміка органічної речовини, дихання ґрунтів, кругообіг метану та нітрогену) та для абіотичної (реакції адсорбції-десорбції, процесів вивітрювання, окислювально-відновних реакцій, фізичних пертурбацій) компоненти ґрунтів (Campbell et.al., 2009). Проведені в умовах

Гавайських островів на вулканічних породах та в умовах інтенсивного повітряного переносу з океану на суходіл дослідження показали, що літій, порівняно з деякими іншими металами, більше адсорбується поверхнею глини, а тому менш інтенсивніше вилугується і затримується в ґрунті, асоціюючись із вторинними глинистими мінералами. Така його поведінка властива для аридних умов, водночас у вологому кліматі та при низьких значеннях рН інтенсивність втрат літію з ґрунтового профілю значно зростає, його кількість змінюється від 1 до 29 мг/кг (Huh et al., 2004). Якщо відкинути особливості вивітрювання залежно мінералогічного складу гірських порід та ізотопне фракціонування з часом, то головним процесом, який визначає кількість літію у ґрунтах, буде його вилугування (втрати) з профілів. Tang Y.-J. et al. (2007) проаналізовано індикаторну роль літію для оцінки вивітрювання гірських порід в земній корі та їхнього колообігу в системі мантія – земна кора. Знову ж таки мова йде про особливості динаміки ізотопного складу цього металу, а не власне його валової кількості. Ізотопний склад та кількість літію безпосередньо залежать від ступеня вивітрювання, що взагалі, може слугувати підставою для дослідження індикаторної ролі цього хімічного елемента. Проте даних з використання літію для оцінки ступеня розвитку профілів ґрунтів на період 1000–2000 років не вистачає. Перспективним також може бути застосування не власне абсолютної кількості хімічних елементів, а коефіцієнтів (пропорцій) між окремими з них. Зокрема R. L. Rudnick et al. (2004) пропонує використовувати відношення Li/Al.

Внаслідок вивітрювання літій накопичується в глинистих мінералах, залізо-марганцевих півтораоксидах, фосфатовмісних породах, слюдах та смектитах, також адсорбується органічною речовиною. Вважають, що вміст літію у ґрунтах контролюється тими ж чинниками, що й генезис ґрунту, включно з вмістом у материнській породі. Профільний розподіл літію є результатом загальних трендів руху ґрунтових розчинів, а тому часто не прогнозованим. На початкових стадіях генезису ґрунтів літій мобільніший, вміст його рухомих фракцій вищий, а в процесі еволюції та формування зрілого профілю рухомість літію зменшується (Kabata-Pendias, 2011). Фоновий валовий вміст літію у ґрунтах змінюється від 13 до 28 мг/кг. Загалом в ґрунтах піщаного гранскладу його кількість менша (22 мг/кг), тоді як у важкоглинистих та карбонатних зростає до 53 і 56 мг/кг, відповідно. Мінімум кількості літію – в органічних ґрунтах (1,30 мг/кг), тобто органічна речовина не вважається визначальним чинником фіксації та утримання цього елемента. Кількість розчинного літію, екстрагованого 1 М NH_4Cl не перевищує 3–5 % від валового (Anderson et al., 1988). Середній валовий вміст літію у ґрунтах США – 33, Китаю – 35, а Венесуели – від 2 до 13,9 мг/кг. Кількість літію близька в ґрунтах (0,001–0,003 %, максимум – 0,008) та підґрунті (0,002–0,004, максимум – 0,007 %) але в останньому переважно вищий вміст цього елемента. У ґрунтах північної Греції вміст літію змінюється від 1,82 до 38,3 мг/кг, а його середня кількість становить 7,60 мг/кг (Papastergios et al., 2004). Обмінний літій чітко асоціюється з вмістом кальцію та магнію, а не з кислотністю, розчинними формами цинку та фосфору чи обмінними формами калію або натрію. Літій більш мобільний у ґрунтах, порівняно з основними елементами ґрунтового вбирного комплексу. Більш істотний вплив на кількість літію має гранулометричний склад, ніж органічна речовина, сума ввібраних основ чи кислотність. Загалом кількість літію в ґрунтах більше залежить від їх параметрів, ніж від складу материнської породи. Катіонний обмін і найперше специфічна адсорбція – важливі шляхи потрапляння цього елемента в ґрунт. Водорозчинні форми літію, які часто збагачують ґрунтові води внаслідок вилугування, можуть сягати до 5 % від валового вмісту, а обмінні асоціюються здебільшого з кальцієм та магнієм (Aral, Vecchio-Sadus, 2008). Валова кількість літію в піщаних ґрунтах (Arenosols) складає 22 мг/кг (від 5 до 70 мг/кг), в підзолистих ґрунтах (Podzols) – 46 (від 2 до 130), в лісових ґрунтах (Cambisols) – 53 (від 9 до 175), в карбонатних ґрунтах (Calcisols) – 56 (від 6 до 105) та в органічних ґрунтах (Histosols) – 1,30 мг/кг (від 0,01 до 3,0 мг/кг).

Середній геометричний (1258 зразків) валовий вміст літію у верхніх 0–20 см ґрунтів США становив $20,0 \pm 1,80$ (Shacklette, Boerngen, 1984).

Отже, значення літію як для здоров'я людини, так і для потреб агровиробництва вельми важливе, проте його дослідження поодинокі та не системні. Науковий інтерес, крім традиційних підходів при вивченні мікроелементів у ґрунтах, становить дослідження індикаторних можливостей, найперше для реконструкції чинників ґрунтогенезу на певному етапі еволюції, саме цей аспект і є метою дослідження.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Стаціонари, де проведені дослідження, розміщені в межах Західноукраїнського фізико-географічного краю на Прут-Сіретському (Грушівка) і Прут-Дністерському (Рідківці, Подвірна) межиріччях. Їх локалізація ув'язана з наявністю похованих ґрунтів і різними еколого-ландшафтними чинниками. Закладали розрізи ґрунтів денної поверхні – фонові та поховані під археологічними пам'ятками – земляними валами скіфського та ранньослов'янського етапів. На стаціонарі Подвірна умови лісолучно-степові, в минулому, суббореальному етапі, ймовірно, ближчі до степових; похований ґрунт – чорнозем типовий, короткопрофільний, у сучасній структурі ґрунтового покриву превалюють чорноземи опідзолені та вилуговані, а також темно-сірі лісові ґрунти. Стаціонари Грушівка та Рідківці характеризуються лісовими умовами, в минулому на цій території переважали лісо-лучні ландшафти, а на сьогодні переважаючими типами ґрунтів є сірі лісові. Зразки ґрунтів відбирали за генетичними горизонтами. Після висушування та підготовки в них проводили аналітичні визначення валового вмісту літію (азотнокисла витяжка з наступним випаровуванням пероксиду водню) і його рухомих форм (ацетатно-амонійний витяжка з $pH=4,8$). Результати аналізів опрацьовані статистично та з використанням математичного аналізу на основі програми «Statistica 6.0».

Стаціонар Грушівка. Фоновий розріз (Gr-1) закладений вниз по схилу ($4-5^\circ$) на північ від земляного валу (розріз Gr-2), приблизно в 90 м та близько 100 м в цьому ж напрямі від межі поле-ліс; рослинність лісова. Для цього розрізу характерна розтягнута середня частина профілю, те, що власне прийнято називати ілювіальними горизонтами; плавні зміни в нижній частині, де на глибині 135–140 см з'являються карбонати. Виділено горизонти (глибина в сантиметрах): H(e), 0–21 + HE(gl), 21–45 + I(h)mgl, 45–127 + Ipkgl, 127–135 + Pik(gl) 135–152 (видно).

Розріз Gr-2 (розкритий вал слов'янського часу розміщений на уступі схилу північної експозиції. Вал розкопували східцеподібними уступами, тому опис проводився в двох місцях; вал не такий потужний, як видається при першому погляді, насип складає близько 70 см, але приуроченість до природного уступу з ровом перед ним створюють загалом перепад висоти біля 300 см. За час існування валу (близько 1160 років) на його поверхні утворився слаборозвинутий ґрунт, насичений артефактами, загальною потужністю близько 60 см (власне гумусовий, 10 см та гумусовий з артефактами, 22 см). Його будова: H (0–10) + H (артефакти), 10–29 + Hp (артефакти), 29–59 + [H(e), 59–76] + [Ih, 76–94] + [(Ih)(gl), 94–147] + [IpGl, 147–180] + [Pimgl, 180–200, видно]. В місці перетину земляного валу дорогою закладено розріз Gr-3, в якому виділено горизонти: H+H (артефакти) (0–67) + PH (артефакти), 67–79 + [H(e), 79–100] + [He(gl), 100–135] + [Ihp(gl), 135–185, видно].

Стаціонар Рідківці. Територія стаціонару Рідківці найскладніша за комплексом природних чинників та перетворенням антропогенною діяльністю як сучасною, так і давньою. Тому кількість фонових розрізів тут більша, ніж на інших стаціонарах (сірі лісові – розрізи R-1, R-3; темно-сірий лісовий – R-4; поховані під земляними валами ранньослов'янського часу – це сірі лісові (R-V1 та R-V3).

Розріз сірого лісового ґрунту (R-1) має таку будову: H(e), 12–34 + Eh, 34–49 + Ie(h)(gl), 49–75 + I(gl), 75–105 + Pikgl, 105–142 (видно). Розріз світло-сірого лісового ґрунту складається з горизонтів: H, 2–25 + He(i), 25–39 + Ih(gl), 39–54 + IGl(k), 54–92 (видно).

Розріз R-V1 (сірий лісовий похований) розкритий в місці перетину його лісовою дорогою. В рельєфі – це нижня частина гряди, в місці її переходу в схил; мікрорельєф представлений мікрозаглибленнями і горбиками, вивалами від дерев; рослинність лісова, підлісок майже відсутній, трав'янистий покрив до 30 %. Загалом похований ґрунт слабо виділяється на зачистці, виражених гумусових горизонтів (темних чи сірих тонів) не спостерігається. Те, що виділено нами як верх похованого ґрунту, має сизуватий колір на зальному фоні жовтувато-буро-жовтих кольорів насипу та інших похованих горизонтів. Сам вал незначної потужності (близько 70 см), що не обумовлює цілковитої екранізації від впливу природних умов (зокрема інфільтрація поверхневих дощових чи снігових вод на таку глибину відбувається, а значить, міграційні-аккумулятивні процеси, як і ґрунтоутворюючі та гіпергенні, могли продовжуватися. Виділено горизонти: Н (0–6) + Н_e (6–28) + І_hргl (28–74) + [Еh(гl), 74–96] + [І_hгl, 96–134] + [І_{рг}l, 134–170] + [Рі_kгl, 170–200, видно].

Орієнтація верхнього валу (сірий лісовий похований, R-V3) з півночі на південь, а сам земляний вал розміщений в 90 м на схід від описаного нижнього валу. Він розкопаний впоперек, природні умови аналогічні, як для попереднього валу. Зі східного боку вал викладений камінням до 60 см в поперечнику. Поверхня давнього ґрунту виділяється найперше артефактами та кольором; насип валу, як і попереднього, незначний – 66 см. Виділені генетичні горизонти: [Еh(гl)], 66–84 + [І_mГl], 84–150 + [Р_k(гl)], 150–200.

Фоновий розріз: темно-сірий опідзолений ґрунт лучного екотопу (R-4) закладений на схилі горба, у верхній його третині під луками, які зараз використовуються як пасовище. Власне горб має майже субмеридіональну орієнтацію (з півдня на північ); до півночі – крутий уступ, на південь – пологий схил до с. Рідківці; західний схил, на якому всі розрізи – до струмка (місце поселення і городища); східний схил – до улоговини, яка розмежовує горби. Розріз розміщений близько 50 м на захід від бровки схилу, в 20 м на захід від смуги кущів (глід, рідше – шипшина, терен, дика груша) та в 160 м на схід від межі лісу. Мікрорельєф – купини, дрібні западинки і підвищення, які, ймовірно, є колишніми купинами та викидами кротів. Трав'янистий покрив суцільний – різнотрав'я. Виділено горизонти: Н(е), 0–29 + Ні(гl), 29–44 + І_h(гl), 44–82 + Рі_mгl, 82–135 (видно).

Стационар Подвірна. Розріз земляного валу Р-1 (стационар Подвірна) закладено в лісосмузі, в 2 м справа від польової дороги Стальнівці – Подвірна, де вал краще збережений. Це загалом гребінь гряди, після якого починається поступове зниження на захід і перехід від гряди до балки. У розкопаному насипі до глибини 167 см однорідний темно-сірий до чорного ґрунтовий матеріал, візуально досить гомогенний, тому його дещо умовно розділено на окремі товщі, а опис почнемо з шару, після якого безпосередньо розміщений похований чорнозем типовий короткопрофільний: [рН_k, 167–213] + [Н_k, 213–237] + [Н_{рк}, 237–251] + [Р_hі_k, 251–285] + [Р_k, 285–321 (видно)].

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Вміст літію у ґрунтах (табл. 1), свідчить про відповідність його кількості даним, одержаним авторами для різних ґрунтів і територій.

В розподілі літію за профілями ґрунтів стационару Грушівка спостерігається: 1) відсутність максимумів цього елемента в материнській породі; 2) підвищена кількість літію в гумусових або ілювіальних горизонтах. Профільний розподіл валового вмісту літію тотожний для всіх ґрунтів стационару Грушівка і загалом його кількість зростає до середньої частини профілю (ілювіальні горизонти) з мінімумом у верхньому гумусовому горизонті. Очевидно гранулометричний склад (вміст мулу зокрема) більш визначально впливає на кількість цього елемента. Водночас, як для рухомого вмісту літію у фонових ґрунтах стационару Рідківці, виявлено максимальні його значення в ґрунтоутворюючій породі, а валового вмісту – в ілювіальному горизонті (табл. 1); для похованих ґрунтів цього стационару екстремальні значення літію спостерігається і в гумусовому горизонті, і

в материнській породі. В похованому чорноземі стаціонару Подвірна максимум літію – в середній його частині, але найменша кількість – в материнській породі, а не у гумусовому горизонті. Тобто, процеси ґрунтогенезу і для цього чорнозему похованого більше впливають на вміст літію, ніж власне склад материнської породи. Розподіл валового вмісту літію за профілями ґрунтів стаціонару Рідківці різноманітніший, при цьому виявляється загальний тренд його збільшення до материнської породи (табл. 1). Отже, для фонових ґрунтів профільний розподіл літію визначається сучасними процесами ґрунтогенезу (гумусоаккумулятивним та елювіально-ілювіальним), а для похованих ґрунтів – профільний розподіл різноманітніший, очевидно трансформований дією вторинних, після насипання земляних валів, процесів.

Таблиця 1

Вміст літію за горизонтами фонових і похованих ґрунтів території дослідження, мг/кг

Ґрунти	Генетичні горизонти	Глибина, см	Валовий вміст	Рухомі форми
Стаціонар Грушівка				
Сірий лісовий, фоновий Gr-1	H(e)	0–21	17,1	0,65
	HE(gl)	21–45	33,5	0,90
	I(h)mgl	45–127	26,0	0,55
	Ipkgl	127–135	18,4	1,05
	Pikgl	135–152	12,9	0,35
Сірий лісовий похований (слов'янського етапу) Gr-2	[H(e)]	59–76	17,2	0,70
	[Ih]	76–94	14,0	0,70
	[I(h)(gl)]	94–147	16,1	0,60
	[IpGl]	147–180	21,7	0,65
	[Pimgl]	180–200	19,5	0,55
Чорнозем опідзолений похований скіфський, Gr-3	[H(e)]	79–100	15,6	1,30
	[He(gl)]	100–135	25,6	1,45
	[Ihp(gl)]	135–185	23,0	1,35
Стаціонар Рідківці				
Сірий лісовий, фоновий R-1	H(e)	12–34	15,2	0,30
	Eh	34–49	21,8	0,30
	Ie(h)(gl)	49–75	22,0	0,40
	I(gl)	75–105	26,0	0,35
	Pikgl	105–142	8,70	2,0
Світло-сірий лісовий фоновий R-3	H	2–25	18,6	0,25
	He/(i)	25–39	20,4	0,20
	Ih(gl)	39–54	23,4	0,30
	IGl(k)	54–92	24,2	0,55
Темно-сірий лісовий фоновий R-4	H(e)	0–29	12,5	0,25
	Hi(gl)	29–44	19,8	0,20
	Ih(gl)	44–82	27,2	0,40
	Pi(gl)	82–135	31,8	0,40
Сірий лісовий похований R-V3	[Eh(gl)]	66–84	26,1	0,40
	[ImGl]	84–150	27,2	0,60
	[Pk(gl)]	150–200	29,1	1,40
Сірий лісовий похований R-V1	[Eh(gl)]	74–96	29,8	1,95
	[Ihgl]	96–134	26,7	0,50
	[Ipgl]	134–170	20,7	0,30
	[Pikgl]	170–200	24,7	0,40
Стаціонар Подвірна				
Чорнозем типовий, похований P-1	[Hк]	213–237	28,2	1,20
	[Hрк]	237–251	29,4	1,10
	[Phк]	251–284	31,6	0,80
	[Pк]	284–320	20,5	2,60

Середній валовий вміст літію у всіх ґрунтах, як і у похованих зокрема (табл. 2), зменшується від стаціонару Подвірна (27,4 мг/кг) до стаціонару Рідківці (22,8 та 26,3 мг/кг, відповідно) та стаціонару Грушівка (20,0 та 19,1 мг/кг, відповідно), а кількість рухомих форм змінюється значно істотніше від стаціонару Подвірна (1,43 мг/кг) до стаціонару Грушівка (0,83 та 0,91 мг/кг, відповідно) та стаціонару Рідківці (0,44 та 0,79 мг/кг, відповідно).

Таблиця 2

Статистичний аналіз вмісту літію (мг/кг) у досліджуваних ґрунтах					
Ґрунти	Валовий		Рухомі форми		% р/в* / V, %
	Середнє	Амплітуда	Середнє	Амплітуда	
Стаціонар Грушівка					
Фоновий (n=5)	21,6±8,17	12,9–33,5	0,70±0,28	0,35–1,05	3,29/37,8
Поховані (n=8)	19,1±4,06	14,0–25,6	0,91±0,38	0,55–1,45	4,76/21,2
Слов'ян. (n=5)	17,7±2,99	14,0–21,7	0,64±0,07	0,55–0,70	3,62/16,9
Скіфськ. (n=3)	21,4±5,19	15,6–25,6	1,37±0,08	1,30–1,45	6,40/24,2
Всі ґрунти (n=13)	20,0±5,78	12,9–33,5	0,83±0,35	0,35–1,45	4,25/28,9
Стаціонар Рідківці					
Фонові (n=13)	20,9±6,21	8,70–31,8	0,36±0,47	0,20–2,0	3,97/29,7
Поховані (n=7)	26,3±3,03	20,7–29,8	0,79±0,63	0,30–1,95	3,13/11,5
Всі ґрунти (n=20)	22,8±5,86	8,70–31,8	0,44±0,54	0,20–2,0	3,79/25,7
Стаціонар Подвірна					
Похований (n=4)	27,4±4,83	20,5–31,6	1,43±0,80	0,80–2,60	5,18/17,6
Всі стаціонари					
Фонові (n=18)	21,1±6,56	8,70–33,5	0,42±0,44	0,20–2,0	4,52/31,1
Поховані (n=19)	23,5±5,34	14,0–31,6	0,98±0,60	0,30–2,60	4,29/23,3
Всі ґрунти (n=37)	22,3±6,01	8,70–33,5	0,60±0,57	0,20–2,60	4,42/24,8

* р/в – відсотковий вміст рухомих форм від валового вмісту; V, % – варіабельність валового вмісту літію, %

Кількість рухомих форм, природно, значно динамічніша і для ґрунтів всіх стаціонарів перевищення складає понад два рази. Середній валовий вміст літію – 22,3 мг/кг (амплітуда від 8,70 до 33,5), його рухомих форм – 0,60 мг/кг (від 0,20 до 2,60). Відсоток рухомості змінюється від 3,13 (поховані стаціонару Рідківці) до 6,40 (поховані скіфського часу стаціонару Грушівка). Максимальна кількість літію характерна для ґрунтів стаціонару Подвірна (чорнозем типовий), мінімальна – для похованих ґрунтів стаціонару Грушівка (сірий лісовий оглеєний), а варіабельність валового вмісту найбільша для фонового сірого лісового ґрунту стаціонару Грушівка.

Ряди еволюції ґрунтів (чорнозем типовий – чорнозем вилугуваний – чорнозем опідзолений для стаціонару Подвірна; чорнозем опідзолений – темно-сірий лісовий – сірий лісовий для стаціонару Грушівка; сірий (бурий) лісовий – сірий лісовий – сірий лісовий оглеєний для стаціонару Рідківці) різні, що підтверджує генезис складної структури ґрунтового покриву території вже в суббореалі. Якщо розглядати літій як певний індикатор інтенсивності ґрунтогенезу (від перетворення вихідної материнської породи), то саме для ґрунтів стаціонару Рідківці зміни його вмісту є найменшими. Водночас процеси ґрунтогенезу на стаціонарах Грушівка і Подвірна за час після поховання були інтенсивнішими. Очевидно, що в цих ґрунтах умови для метаморфізму мінеральної частини були сприятливішими, а власне елементарні ґрунтоутворюючі процеси визначально змінили її вихідний склад. Причиною диференціації різновікових горизонтів за вмістом літію треба вважати саме наслідки ґрунтоутворення в процесі еволюції ґрунтів (чорноземів у сірі лісові ґрунти) при відповідних змінах клімату і рослинного покриву.

Очевидно, що кількість хімічних елементів у ґрунті є результатом впливу всіх чинників, які діють синхронно або ні, залежно від поєднання процесів у конкретних

умовах. Тобто для фонових ґрунтів денної поверхні, шлях розвитку яких у відповідних еколого-ландшафтних умовах найтриваліший, характерний іманентний еколого-геохімічний статус. При цьому спостерігається різниця, іноді вельми істотна, між окремими розрізами фонових ґрунтів за кількістю літію, що свідчить про диференціацію (як наслідок дії природних процесів) за цим показником навіть для невеликих за площею ареалів. Так, в більшості фонових ґрунтів виявлено гумусово-елювіально-ілювіальний перерозподіл, іноді – елювіально-ілювіальний. В материнській породі підвищеного вмісту літію не спостерігається (крім двох розрізів стаціонару Рідківці, за досить дискусійного визнання материнською породою цієї частини профілю). Це свідчить про визначальний вплив процесів ґрунтогенезу на перерозподіл хімічних елементів за час формування ґрунтів. При цьому літій частіше акумулюється у верхніх гумусових горизонтах (як наслідок впливу органічної речовини та діяльності біоти загалом) або в горизонтах накопичення дрібнодисперсних часток. Тобто, дія процесів ґрунтогенезу кардинально змінює особливості вертикального розподілу їх вмісту. Для валового вмісту літію (табл. 2) місцями його накопичення є переважно середня частина профілів, зокрема це ілювіальні (різного ступеня нагромадження мулу) горизонти як фонових, так і похованих ґрунтів.

ВИСНОВКИ

Отже, в похованих ґрунтах загалом вміст літію вищий (як і його рухомість), ніж у фонових, за винятком ґрунтів стаціонару Грушівка. Варіабельність вмісту літію завжди більша для фонових ґрунтів, порівняно з похованими. Не доказано однозначної індикаторної палеопедологічної ролі літію: є чинники за і є проти. Ймовірно, що можливості застосування цього металу для оцінки кліматичних змін можуть бути розширені за умови включення ізотопного аналізу, а також коефіцієнтів інтенсивності ґрунтогенезу. Очевидно, що на завершальному етапі досліджень є необхідність встановлення окремих параметрів ґрунтів і аналізу їхніх зв'язків з вмістом хімічних елементів. Також безсумнівним є потреба в розширенні бази даних за рахунок включення до вибірки ґрунтів агроландшафтів.

* * *

Публікація містить результати досліджень, проведених при грантовій підтримці Держаного фонду фундаментальних досліджень за конкурсним проектом № ф 64/24-2015 «Вплив погодно-кліматичних флуктуацій на процеси масообміну в системі ґрунт-рослина».

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

- | | |
|--|---|
| <p>Anderson, M. A., Bertsch, P. M., Miller, W. P., 1988. The distribution of lithium in selected soils and surface waters of the southeastern U.S.A. <i>Applied Geochemistry</i> 3, 205–212.</p> <p>Aral, H., Vecchio-Sadus, A., 2008. Toxicity of lithium to humans and the environmental – A literature review. <i>Ecotoxicology and Environmental Safety</i> 70, 349–356.</p> <p>Campbell, J. L., Rustad, L. E., Boyer, E. W., Christopher, S. F., Driscoll, C. T., Fernandez, I. J., Groffman, P. M., Houle, D., Kiebusch, J., Magill, A. H., Mitchell, M. J., Ollinger, S. V., 2009. Consequences of climate change for biogeochemical cycling in forests of N.-E. North America. <i>Canadian J. Forest Research</i> 39, 264–284.</p> | <p>Huh, Y., Chan, L.-H., Chadwick, O. A., 2004. Behavior of lithium and its isotopes during weathering of Hawaiian basalt. <i>Geochem., Geophys. and Geosyst.</i> 5(9), 1–22.</p> <p>Kabata-Pendias, A., 2011. Trace elements in soils and plants. Boca Raton: Taylor&Francis Group, 123–127.</p> <p>Papastergios, G., Georgakopoulos, A., Fernández-Turiel, J. L., Gimeno, D., Filippidis, A., Kassoli-Fournaraki, A., Grigoriadou, A., 2004. Heavy metals and toxic trace elements contents in soils of selected areas of the Kavala prefecture, northern Greece. <i>Bulletin of the Geological Society of Greece XXXVI. Proceedings of the 10th International Congress, Thessaloniki, April 2004</i>, 263–272.</p> |
|--|---|

- Rudnick, R. L., Tomascaka, P. B., Njoa, H. B., Gardnerb, L. R., 2004. Extreme lithium isotopic fractionation during continental weathering revealed in saprolites from South Carolina. *Chemical Geology* 212, 45–57.
- Shacklette, H. T., Boerngen, J. G., 1984. Element concentrations in soils and other surficial materials of the conterminous United States. Geological survey professional paper 1270. US government printing office. Washington, 54–56.
- Tang, Y-J., Zhang, H.-F., Ying, J.-F., 2007. Review of the Lithium Isotope System as a Geochemical Tracer. *International Geology Review* 49, 374–388.

Стаття надійшла в редакцію: 10.06.2016

THEORETICAL AND PRACTICAL ISSUES OF SOIL SCIENCE



I. S. Smaga ✉

Dr. Sci. (Biol.), Professor

UDK 631.4

*Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University,
Kotsubinsky Str., 2, Chernivtsi, Ukraine, 58012*

DIAGNOSTIC PROBLEMS OF ELEMENTARY SOIL PROCESSES AND PROFILE-DIFFERENTIATED SOILS OF THE PRECARPATHIAN REGION

Abstract. Present condition, scientific concepts and ways of further development of diagnosis problem of elementary soil processes and genetic nature profiled-differentiated gleyed soils of the Pre-Carpathian region, known as brownish-podzolic, brownsoil-podzolic and sod-podzolic, based on stable indicators of soil properties are studied. Eluvial-illuvial differentiation nature of the soil profile of the studied soils is founded.

The aim of research was to develop criteria for the diagnosis of elementary soil processes and genetic nature profiled-differentiated soil deposits of Ciscarpathia and discovering of the parameters of the relevant indicators of soil properties.

The soil profile with his characteristic set of genetic horizons and morphological characteristics can result from taking place of both various set (kit) of ESP and of varying intensity of individual processes (complex ESP). Formation of genetic soil type is caused by the course of the profile forming (main) process with the possible participation of several (related) processes.

An important condition for the diagnostic determination of profile-differentiated soils in the Ciscarpathia is the search for reliable diagnostic criteria for basic elementary soil processes (ESP) which play a crucial role in the genesis and determine their macromorphological characteristics: lessivage, podzolisation, gleying and eluvial-gleying processes.

Diagnostic criteria of the elluvial processes resulted in gross chemical composition of the soil (molecular ratio), particle size distribution (loss sludge) and mineralogy silt fraction (montmorillonite content) were tested. The criteria for establishing genetic origin of the Pre-Carpathian soils, podzolization and eluvial-gley processes detection and their possible parameters were suggested. Followed the impact of the prevailing development of individual creating profile elementary soil processes (podzolization, eluvial-gley and gleying) by laboratory simulation modeling of soil regimes that are conducive to them (washing, water stagnant and contrast) for evaluative indicators of acid-base soil buffer and made the conclusions about the possibility of these processes isolation.

Eluvial-illuvial differentiation of Ciscarpathia typical soils is coursed by passage of profile forming process of podzolisation (acid hydrolysis, podzolic) and related from the group of eluvial - eluvial-gleying process and lessivage. They are diagnosed by the gross grain and chemical composition of the soil and the content of montmorillonite. Brown soil forming processes have a significant impact on the formation of humus status and physical and chemical properties of the studied soil.

✉ Tel.: +38072-58-48-41, e-mail: i.smaga@chnu.edu.ua

DOI: 10.15421/041604

Substantiated differences forming the group composition of humus and fractional composition of humic acids of soils formed under brown soil formation processes from the sod soils type (the ratio of humic acids to fulvic acid, gumatcalcium content, optical density of humic substances).

Advantages and disadvantages of using quantitative identification criteria - profile humus accumulation factor in the genetic diagnosis of soil type are analyzed.

In the conditions of wash and contrasting modes of moisture, causing the priority development processes of podzolisation and gleye- eluvial respectively a similar trend of formation of acid-base buffer capacity of soil and similar parameters of evaluating indicators within the soil profile are observed. It is impossible to separate the processes of podzolisation and gleye- eluvial using the indicators of acid-base buffering. Describing of profile structure, morphological and genetic traits of genetic horizons, the profile distribution of acid-base buffering indicators (even without the use of criteria based on gross chemical and grain composition and content of clay minerals) help to clear identify brownish-podzolic gley soils of Ciscarpathia.

Keywords: elementary soil processes, Pre-Carpathians, brownish podzolic soil, sod-podzolic soils, genesis, diagnostic criteria, the gross chemical composition, humus status.

УДК 631.4

И. С. Смага

д-р биол. наук, проф.

*Черновицкий национальный университет им. Ю. Федьковича,
ул. Коцюбинского, 2, г. Черновцы, Украина, 58012,
тел.: +38072-58-48-41, e-mail: i.smaga@chnu.edu.ua*

ПРОБЛЕМЫ ДИАГНОСТИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ПОЧВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ И ПРОФИЛЬНО-ДИФФЕРЕНЦИРОВАННЫХ ПОЧВ В ПРЕДКАРПАТЬЕ

Аннотация. Проведен анализ научных достижений, основных концепций и путей решения проблемы диагностики элементарных почвенных процессов, а также генетической природы профилно-дифференцированных оглеенных почв Предкарпатья с утвердившейся номенклатурой буровато-подзолистые, буроземно-подзолистые и дерново-подзолистые, на основании устойчивых показателей почвенных свойств. Установлены параметры диагностических критериев Элементарных почвенных процессов, влияние преобладающего развития отдельных профилеобразующих процессов на показатели кислотно-основной буферности и предложены критерии для генетической диагностики исследованных почв.

Ключевые слова: элементарные почвенные процессы, Предкарпатье, буровато-подзолистые почвы, дерново-подзолистые почвы, генезис, диагностические критерии, валовой химический состав, гумусное состояние.

УДК 631.4

І. С. Смага

д-р біол. наук, проф.

*Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича,
вул. Коцюбинського, 2, м. Чернівці, Україна, 58012,
тел.: +38072-58-48-41, e-mail: i.smaga@chnu.edu.ua*

ПРОБЛЕМИ ДІАГНОСТИКИ ЕЛЕМЕНТАРНИХ ҐРУНТОВИХ ПРОЦЕСІВ І ПРОФІЛЬНО-ДИФЕРЕНЦІЙОВАНИХ ҐРУНТІВ У ПЕРЕДКАРПАТТІ

Анотація. Проведено аналіз наукових досягнень, основних концепцій та шляхів щодо вирішення проблеми діагностики елементарних ґрунтових процесів та генетичної природи профільно-диференційованих оглеєних ґрунтів Передкарпаття, відомих під номенклатурою буровато-підзолисті, буроземно-підзолисті та дерново-підзолисті, на основі стійких показників ґрунтових властивостей. Установлено параметри діагностичних критеріїв елементарних ґрунтових процесів, вплив переважаючого розвитку окремих профілеутворюючих процесів на показники кислотно-основної буферності та запропоновано критерії для генетичної діагностики досліджуваних ґрунтів.

Ключові слова: елементарні ґрунтові процеси, Передкарпаття, буровато-підзолисті ґрунти, дерново-підзолисті ґрунти, генезис, діагностичні критерії, валовий хімічний склад, гумусовий склад.

ВСТУП

Специфіка прояву факторів ґрунтоутворення в Передкарпатті призвела до формування досить складної та своєрідної структури ґрунтового покриву з переважанням профільно-диференційованих ґрунтів відомих під різною номенклатурою: дерново-підзолисті, бурувато-підзолисті та буроземно-підзолисті (Bespalko, 2000; Vyznachnik..., 2005; Nikorych, 1999; Pankiv, Poznyak, 1998). Складність та неоднозначне тлумачення генетичної природи фонових ґрунтів Передкарпаття зумовлює необхідність розробки чітких діагностичних критеріїв їх генетичної природи.

Вивчення фонових для території Передкарпаття профільно-диференційованих ґрунтів супроводжувалося становленням суперечливих поглядів щодо трактування їх генетичної природи та номенклатурної належності (Nazarenko, 1981). Для діагностики їх генетичної природи дослідники проводили виокремлення окремих елементарних ґрунтових процесів (ЕП) за стійкими показниками складу і властивостей ґрунтів.

Процесний аналіз профільно-диференційованих ґрунтів Передкарпаття дав змогу виділити велику низку процесів: основні, сполучені, фонові та спроектувати можливі схеми будови профілю, які названі процесними типами (Polchyna, 2013a). Факт прояву різних наборів елювіально-ілювіальних ЕП, які проявляються в різних частинах Передкарпаття дав підстави сформулювати припущення про гетерогенетичну природу цих ґрунтів (Polchyna, 2013b). Серед основних ЕП, що відіграють найважливішу роль в генезисі та визначають макроморфологічні характеристики досліджуваних ґрунтів називаються лесиваж, опідзолення, глеєвий та елювіально-глеєвий процеси (Nikorych, 2012). Допускається, що в окремих локальних умовах профілеутворюючими можуть бути різні процеси та, як наслідок, гетерогенетична природа ґрунтів (Polchyna, 2013b). Тому, актуальною проблемою залишається пошук надійних критеріїв діагностики ЕП та діагностичного визначення профільно-диференційованих ґрунтів у Передкарпатті.

Мета досліджень полягала у виборі критеріїв ЕП і генетичної природи профільно-диференційованих ґрунтів Передкарпаття та встановлення параметрів відповідних показників ґрунтових властивостей.

ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

В дослідженнях використано порівняльно-географічний, профільно-генетичний і порівняльно-аналітичний методи, підібрано ключові ділянки у найбільш типових умовах формування кислих оглеєних профільно-диференційованих ґрунтів на території Передкарпаття. При виборі ключових ділянок максимально дотримувалися принципу однотипності умов рельєфу, материнської породи, глибини залягання ґрунтових вод та ін. У польових умовах проведено вивчення морфологічних властивостей генетичних горизонтів ґрунтів і відібрано зразки ґрунту в 3-разовій повторності для лабораторно-аналітичних досліджень.

Лабораторне моделювання щодо вивчення впливу можливих режимів зволоження (водо- застійний, промивний та контрастний) на кислотно-основну буферність, обґрунтування розрахунку показників якої наведено у відомій монографії Р. С. Трускавецького (Truskavetskiy, 2003), проводили зі зразками ґрунту, взятого з-під покриву лісу. Детальніше суть модельного експерименту було описано раніше (Tsvyk, Smaga, 2010). У підготовлених для аналізу зразках ґрунту з ключових ділянок та після лабораторного моделювання тривалістю 1 рік визначали показники складу і властивостей за загальноприйнятими в ґрунтознавстві методиками.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Для з'ясування питань генетичної діагностики та систематизації ґрунтів утвердилася цілісна концепція елементарних ґрунтових процесів (ЕП). Ґрунтовий

профіль з характерним для нього набором генетичних горизонтів і морфологічних ознак може бути результатом протікання як різного набору (комплекту) ЕПП, так і прояву різної інтенсивності окремих процесів (комплекс ЕПП). З огляду на те, що ЕПП створюють стійкі ознаки в ґрунтовому тілі, вважається, що для генетичної діагностики ґрунту треба виділити і діагностувати ЕПП за відповідними критеріями. Формування генетичного типу ґрунту зумовлюється профілеутворюючим (головним) ЕПП за можливої участі кількох (супутніх) процесів (Zonn, 1994). Поняття «тип ґрунтоутворення» фактично асоціюється з профілеутворюючим процесом. Взаємодія кількох типів ґрунтоутворення теж призводить до формування різних типів ґрунтів.

За всю історію розвитку вітчизняного ґрунтознавства одним з найдискусійніших питань було пояснення генезису профільно-диференційованих ґрунтів Передкарпаття. Погляди науковців щодо формування елювіально-ілювіальної, зокрема мінералого-гранулометричної, диференціації профілю, були і залишаються неоднозначними, що зумовлено суперечливістю критеріїв діагностики процесів елювіальної деградації ґрунту (лесиваж, опідзолення, глее-елювіювання) та майже аналогічним результатом їх проходження.

Кожен профілеутворюючий процес, який відповідає типу ґрунтоутворення, формує властивий йому профіль. Підзолюючий процес реалізується через ЕПП кислотного гідролізу мінеральної і органічної частини ґрунту (опідзолення), лесиваж, глее-елювіювання тощо. Під дією комплексу, або комплексу ЕПП, що утворюють конкретні генетичні горизонти та ґрунтовий профіль, формуються макроморфологія, мікроморфологія і біологія ґрунту, його хімічні, фізико-хімічні та фізичні властивості.

При обґрунтуванні та встановленні параметрів критеріїв діагностики ЕПП нами використано відомі теоретичні напрацювання щодо генезису елювіально-ілювіально та текстурно-диференційованих ґрунтів та власні результати досліджень хімічного й гранулометричного складу ґрунту, мінералогії мулистій фракції, фракційно-групового складу гумусу, фізико-хімічних та фізичних властивостей.

Як діагностичні критерії процесів опідзолення та лесиважу, починаючи ще з початкового періоду інтенсивного вивчення елювіально-ілювіально диференційованих ґрунтів, часто використовують показники, розраховані за даними аналізу валового хімічного складу ґрунту. Проходження будь-якого з цих процесів призводить до збіднення верхньої товщі ґрунту мулом, півтора оксидами та відносного збагачення її кремнеземом. Для більш детального вивчення корінних змін в складі мінеральної частини ґрунту розраховують величини молекулярних відношень: $\text{SiO}_2:\text{R}_2\text{O}_3$; $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$; $\text{SiO}_2:\text{Fe}_2\text{O}_3$; $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{Fe}_2\text{O}_3$, елювіально-аккумулятивні коефіцієнти та інші показники.

Відомо, що при проходженні глее-елювіювання, або за його домінування, опідзолена товща ґрунту втрачає залізо більш інтенсивно, ніж алюміній. В досліджуваних ґрунтах Передкарпаття втрати Al_2O_3 з He і E горизонтів виявилися майже в 2 рази меншими ніж Fe_2O_3 і майже співрозмірними з втратами мулу (табл. 1). На нашу думку, величини молекулярних відношень $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$ та елювіально-аккумулятивних коефіцієнтів алюмінію ($\text{EAK}_{\text{Al}_2\text{O}_3}$) за генетичними горизонтами дають можливість, в першу чергу, діагностувати процес опідзолення (підзолизації, кислотного гідролізу). У випадку проходження його в чистому вигляді були б відмічені співставимі втрати верхньою товщею ґрунту заліза та алюмінію. Вищі значення молекулярних відношень $\text{SiO}_2:\text{Al}_2\text{O}_3$, втрат мулу й Al_2O_3 та нижчі – $\text{EAK}_{\text{Al}_2\text{O}_3}$ в опідзоленій товщі свідчать про істотнішу роль процесу опідзолення (в класичному його розумінні) в формуванні елювіально-ілювіальної диференціації профілю. Підтвердженням цьому може бути профільний розподіл найбільш гідрофільного мінералу монтморилоніту, який мав би інтенсивно вимиватися з верхньої товщі ґрунту в умовах промивного водного режиму. Нижчий його вміст саме в елювіальних горизонтах, а не в усій опідзоленій товщі ґрунту, що характерно для мулуватої фракції, та відсутність ілювіального накопичення дають підстави

стверджувати про переважання класичного опідзолення ґрунту порівняно з процесами суспензійної міграції (лесиважем).

Таблиця 1

**Параметри діагностичних критеріїв ЕГП
в профільно-диференційованих оглеєних ґрунтах Передкарпаття**

ЕГП	Критерії	Генетичний горизонт	Параметри
Підзолизація (опідзолення)	SiO_2	He	11,7–15,1
	Al_2O_3	E	9,6–15,0
		P	7,8–9,4
	EAK Al_2O_3	He	0,625–0,695
		E	0,618–0,852
	втрати мулу (% до материнської породи)	He	15,7–49,1
		E	18,0–34,5
	втрати Al_2O_3 (% до материнської породи)	He	31,7–38,3
		E	10,5–33,7
Лесиваж		He	48–50
	Вміст монтморилоніту в мулі (%)	E	38–47
		I	47–53
		P	48–67
Глеє-елювіювання	Al_2O_3	He	4,7–11,9
	Fe_2O_3	E	4,5–11,2
	втрати Fe_2O_3 (% до материнської породи)	He	41,9–73,4
		E	37,9–61,6
	втрати Fe_2O_3	He	1,18–2,31
	втрати Al_2O_3	E	1,12–5,85
	SiO_2 : Fe_2O_3	He	4,2–11,9
	SiO_2 : Al_2O_3	E	4,5–11,1
Буроземоутворення	Вміст фракцій гумінових кислот (% від Сзаг. ґрунту):		
		1	7,0–19,0
		2	0–7,8
		3	3,0–11,25
	Вміст фракцій фульвокислот (% від Сзаг. ґрунту):		
		1a	7,1–19,8
		1	5,3–30,0
		2	0–9,4
		3	7,3–23,7
	Сгк:Сфк	He	0,66–0,76
	Оптична щільність гумусових кислот, мг/мл	He, Eh	2,95–9,93
	Вміст рухомого алюмінію за методом Крупського (мг/100г ґрунту)	He, Eh	10,1–63,5

На думку окремих дослідників, типовий прояв підзолизації у даних ґрунтах відмічається досить рідко, а головну роль у їх профільній диференціації відіграє елювіально-глеєвий процес, зумовлений поверхневим перезволоженням. Найбільш класичний його варіант – це руйнування ґрунтових мінералів і виніс продуктів руйнування в нижню частину профілю. Допускається також проходження процесу відбілювання без низхідного переміщення речовин, зокрема феруму (Polchupa, 2013a). Однак, щодо цього існують певні сумніви, оскільки його проходження можливе лише за наявності постійних відновних умов. Сегрегація заліза та формування марганцево-залізистих конкрецій в ґрунтах відбувається в умовах

контрастного окиснювально-відновного режиму, зумовлених чергуванням періодів нормального зволоження і перезволоження.

Проходження глеє-елювіювання діагностується також за зростанням величин молекулярного відношення $Al_2O_3:Fe_2O_3$ у верхній товщі ґрунту, а також за співвідношенням втрат нею Fe_2O_3 і Al_2O_3 . Критерій, що отримується діленням величини молекулярного відношення $SiO_2:Fe_2O_3$ на величину молекулярного відношення $SiO_2:Al_2O_3$, дає змогу врахувати відомий факт відносного накопичення кремнезему як при опідзоленні, так і при глеє-елювіюванні. Закономірності формування його параметрів у ґрунтах Передкарпаття виявилися досить близькими до молекулярного відношення $Al_2O_3:Fe_2O_3$, що може свідчити про однакову інформативність цих показників.

Згідно з загальновідомими канонами генетичного ґрунтознавства основою генетичної діагностики ґрунту виступає виділення профілеутворюючого ЕП. Виокремлення наведених вище діагностичних критеріїв дає підстави стверджувати, що елювіально-ілювіально диференційовані ґрунти Передкарпаття сформувалися за дії кількох ЕП однакової спрямованості – опідзолення, лесиважу та глеє-елювіювання, які можуть проходити як одночасно, так і окремо на різних етапах еволюції ґрунту. Нез'ясованими залишаються питання впливу окремих ЕП та одночасного їх проходження на формування властивостей ґрунтів. Тому, в лабораторних умовах нами проведено вивчення впливу водозастійного, промивного та контрастного режимів зволоження, які сприятливі для розвитку в ґрунті процесів оглеєння, опідзолення та глеє-елювіювання на формування параметрів показників кислотно-основної буферності ґрунту. Вони відзначаються високою інформативністю щодо розвитку процесів ґрунтоутворення, чітко реагують на зміни умов, оскільки кислотно-основна буферність виступає функцією усіх хімічних компонентів ґрунту. Раніше проведеними дослідженнями було встановлено, що потенційна буферна ємність (ПБЄ) у лужному плечі корелює з діагностичними процесами як опідзолення, так і глеє-елювіювання та чітко відображає генетичну природу ґрунту (Smaga, 2008).

Дослідженнями встановлено, що за функціонування ґрунту протягом одного року в умовах водозастійного режиму зволоження підвищується його нейтралізувальна здатність (в інтервалі від pH_{CaCl_2} до $pH=3$) та буферність проти підкислення порівняно з ґрунтом, який функціонував у режимі зволоження, притаманному даній території. Це цілком логічно, з огляду на те, що при глеєутворенні відбувається підлугування реакції середовища. Значення ПБЄ в кислотному плечі у цьому варіанті були значно вищими, ніж у варіантах з контрастним й промивним режимами зволоження (табл. 2). Підвищення значень ПБЄ в лужному плечі, а отже й протилужної буферності ґрунту відбулося у варіанті з промивним режимом зволоження. Це пов'язано, передусім, з інтенсивним вилугуванням обмінних катіонів. Зазначимо, що у більшості ґрунтових розрізів профільно-диференційованих ґрунтів Передкарпаття відмічено саме таку специфіку профільного розподілу і близькі параметри даного показника.

Зміни кислотно-основної буферності ґрунту за функціонування його в умовах різних режимів зволоження чітко виявляються за ПБЄ в кислотному та лужному плечі. Їх параметри були найвищими у варіанті з водозастійним та найнижчими – з промивним режимом зволоження. Показники, які сформувалися за контрастного режиму зволоження, займали проміжне значення.

Найвищі величини показника нейтралізації за типових умов функціонування ґрунту були у верхньому генетичному горизонті. Підвищення їх значень в середній частині профілю у варіанті з водозастійним режимом зволоження (до 2,55–2,60 мг-екв/100 г ґрунту) зумовлене зниженням кислотності та перегрупуванням буферних систем ґрунту. Дещо нижчі величини цього показника були характерні для варіанта з промивним режимом зволоження. Проміжне положення між варіантами промивного й водозастійного режимів знову ж таки займав ґрунт, що функціонував за умов контрастного режиму зволоження. З отриманих результатів видно, що параметри

оцінних показників кислотно-основної буферності ґрунту визначаються умовами зволоження, а отже й переважаючим розвитком відповідного процесу ґрунтоутворення. Найістотніша трансформація мінеральної частини ґрунту здійснюється в умовах промивного режиму зволоження, тобто внаслідок процесів опідзолення.

Таблиця 2

Показники кислотно-основної буферності ґрунту за змодельованих режимів зволоження				
Генетичний горизонт	Показник нейтралізації, мг-екв/100 г ґрунту	Потенційна буферна ємність, бали		Нейтралізувальна здатність ґрунту в інтервалі від $\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$ до $\text{pH}=3$
		кислотне плече	лужне плече	
До моделювання				
HE	2,80	7,89	56,1	3,75
Egl	2,40	10,1	41,6	5,50
EIgl	2,45	9,22	43,2	4,25
Igl	2,30	11,1	44,7	7,00
Pgl	2,30	13,2	46,0	8,00
Водозастійний режим зволоження				
HE	2,50	13,9	42,9	3,25
Egl	2,60	13,5	43,8	7,00
EIgl	2,55	11,3	45,1	8,00
Igl	2,50	10,2	42,9	10,0
Pgl	1,60	13,5	44,4	9,25
Контрастний режим зволоження				
HE	1,0	3,12	34,5	3,75
Egl	2,50	7,83	41,7	6,50
EIgl	1,50	8,59	36,8	6,50
Igl	0,70	12,9	43,2	7,00
Pgl	1,50	10,1	41,7	7,00
Промивний режим зволоження				
HE	2,0	4,04	47,2	2,75
Egl	2,30	3,12	39,8	4,50
EIgl	2,50	3,12	42,3	5,75
Igl	1,80	8,76	47,2	7,00
Pgl	1,50	8,84	41,3	7,00

Отже, інтенсивніший розвиток як опідзолення, так і глеє-елювіювання в умовах промивного та контрастного режимів зволоження відповідно, зумовлюють формування близьких параметрів показників кислотно-основної буферної здатності ґрунту, а тому виокремити їх вплив у випадку сумісної дії за даними показниками неможливо.

Кислотне буроземоутворення, яке домінує в бурих лісових ґрунтах Карпат, поширюється й на територію Передкарпаття. Вважається, що даний процес складається з 2-х ЕГП – кислого гумусоутворення та неосинтезу мінералів (оглинення). Таким чином, буроземоутворення більше відповідає поняттю тип ґрунтоутворення, ніж елементарний ґрунтовий процес. Його проходження супроводжується формуванням специфічного фракційного складу гумусових кислот.

Серед бурих гумінових кислот переважають вільні та зв'язані з рухомими півтораоксидами, а також з глинистими мінералами (фракції 1 і 3), а фульвокислот, крім того, і вільні, найбільш «агресивні» (фракція 1a). Гумінові кислоти та фульвокислоти, зв'язані з кальцієм, містяться в незначних кількостях або повністю відсутні. Це одна з визначальних відмінностей буроземного процесу від дернового.

Високий вміст рухомого алюмінію, що визначається за методом Крупського (до 63,5 мг/100г ґрунту), теж вважається типовим наслідком проходження

буроземоутворення. Саме рухомому алюмінію належить основна роль у створенні обмінної кислотності ґрунтів Карпатської гірсько-лісової провінції. В дерново-підзолистих ґрунтах з класичною підзолизацією основна роль у цьому процесі належить обмінному водню. Іншою характерною ознакою буроземоутворення є підвищення вмісту аморфних форм феруму та алюмінію у верхній товщі ґрунту (Kanivets, 1991). Проходження процесів вилуговування лужних і лужноземельних катіонів, які впливають на склад обмінно-поглинутих катіонів та насиченість ґрунту основами зумовлене великою кількістю опадів, внаслідок чого в ґрунтах формується промивний водний режим.

Величини $S_{\text{гк}}:S_{\text{фк}}$ у верхньому генетичному горизонті дослідники традиційно відносять до головних критеріїв дернового процесу. Однак, проходження даного процесу в ґрунтах Карпатського регіону видається сумнівним, оскільки фракційно-груповий склад гумусу ґрунтів як під лісом так і під трав'янистою рослинністю більше характерний для буроземоутворення. Крім того, відомо, що серед гумусових речовин, найвищі величини оптичної щільності притаманні гуматам кальцію. Відповідна фракція переважає в складі гумінових кислот ґрунтів, сформованих за переважаючого розвитку дернового процесу. Гумусові кислоти досліджуваних ґрунтів характеризуються порівняно невисокими значеннями оптичної щільності (2,95–9,93 мг/мл), що узгоджується з фракційно-груповим складом гумусу, зокрема майже повною відсутністю гуматів кальцію.

Отже, для діагностики генетичної природи профільно-диференційованих оглеєних ґрунтів Передкарпаття дослідники визначають будову профілю, морфологічні ознаки та процеси елювіально-ілювіальної диференціації (профілеутворюючі та супутні) за діагностичними критеріями на основі показників складу і властивостей твердої фази ґрунту.

В останні роки у вітчизняному ґрунтознавстві сформувався кардинально інший підхід до генетичної діагностики ґрунту. Визначення типу ґрунту в системі еколого-субстантивної класифікації на параметричній основі пропонується здійснювати за будовою профілю, морфолого-генетичними ознаками генетичних горизонтів та за кількісним ідентифікаційним критерієм – параметрами коефіцієнта профільного нагромадження гумусу (КПНГ), який розраховується за вмістом гумусу і фізичної глини. За цією ознакою, зокрема в Карпатському регіоні, виділяється буроземно-підзолистий тип ґрунтоутворення, який формує буроземно-підзолисті ґрунти (Viznachnik..., 2005). Такий підхід до генетичної діагностики ґрунтоутворення не передбачає виділення та діагностики окремих ЕГП, зокрема профілеутворюючого та супутніх процесів. При цьому не враховується найбільш характерний для ґрунтів окремих типів набір ґрунтових властивостей, особливо тих, які зумовлені специфікою місцевих факторів ґрунтоутворення, наявність процесів і конкретних механізмів елювіально-ілювіальної диференціації профілю та їх вплив на властивості ґрунтів (фізико-хімічні властивості, гумусовий стан тощо). Наприклад, зниження вмісту гумусу в орних ґрунтах внаслідок процесів дегуміфікації може призвести до зниження величини КПНГ, а отже й віднесення ґрунту до іншого типу, незважаючи на те, що будова профілю та морфолого-генетичні особливості такого ґрунту істотно не зміняться. Переваги такого методу діагностики вбачаються в зменшенні суб'єктивізму при діагностичному визначенні ґрунтів, а також у запропонованій досить практичній номенклатурі ґрунтів України на рівні типу.

ВИСНОВКИ

Елювіально-ілювіальна диференціація фонових ґрунтів Передкарпаття обумовлена проходженням профілеутворюючого процесу опідзолення (кислотного гідролізу, підзолизації) та супутних з групи елювіальних – елювіально-глеєвого процесу та лесиважу. Діагностуються вони за показниками валового хімічного та гранулометричного складу ґрунту та вмісту монтморилоніту. На формування

гумусового стану та фізико-хімічних властивостей досліджуваних ґрунтів суттєвий вплив здійснює буроземоутворення.

В умовах промивного та контрастного режимів зволоження, що зумовлюють переважний розвиток процесів опідзолення та глеє-елювіювання відповідно відмічається аналогічна спрямованість процесів формування кислотно-основної буферної здатності ґрунту та близькі параметри її оцінних показників у межах ґрунтового профілю. Виокремлення процесів опідзолення та глеє-елювіювання за показниками кислотно-основної буферності неможливе. Встановлення будови профілю, морфолого-генетичних ознак генетичних горизонтів, профільного розподілу показників кислотно-основної буферності (навіть без застосування критеріїв на основі валового хімічного та гранулометричного складу, а також вмісту глинистих мінералів) сприяє чіткій ідентифікації бурувато-підзолистих оглеєних ґрунтів Передкарпаття.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

- Kanivets, V. I., 1991. Burozemoobrazovanie v lesnih pochvah Ukrainskih Karpat [Brownsoil formation in the forest soils of the Ukrainian Carpathians]. Eurasian Soil Science 4, 19–28 (in Russian).
- Nazarenko, I. I., 1981. Okultivuvanie podzolistih ogleenih pochv [Cultivation of podzolic gley soils]. Nauka, Moscow (in Russian).
- Nikorych, V., Polchyna, S., Skiba, S., Szymanski, W., 2012. Morfohenetychni osoblyvosti Albelyuvisolej (Albeluvisols) Peredkarpattya Ukrayiny ta Polshhi [Morphogenetic features of Albeluvisols of Ukrainian and Polish Precarpathians]. Biological systems 4(1), 65–71 (in Ukraine).
- Pankiv, Z. P., Poznyak, S. P., 1998. Dernovo-podzolisti ogleeni grunti pivnichno-zahidnogo Peredkarpattya [Sod-podzolic surface-gleyed soils of the northwest Precarpathians]. Merkator, Lviv (in Ukraine).
- Polchyna, S. M., 2013b. Profilno-diferenciyovani ogleeni grunti Peredkarpattya: geneza, variabelnist, systematyka [Profile-differentiated gleyed soils of Precarpathians: genesis, variability, taxonomy]. Author's abstract thesis of Candidate of biology sciences: 03.00.18 – Soil Science. Chernivtsi (in Ukraine).
- Polchyna, S., 2013a. Protseyna otsinka profilno-diferenciyovanih ogleenih gruntiv Peredkarpattya [The estimation process of profiled-differentiated gley soils of Precarpathians]. Visnik Lvivskogo un-tu. Ser. Geografichna 44, 295–301 (in Ukraine).
- Smaga, I. S., 2008. Problemi diagnostiki gruntoutvorenniya v Peredkarpatti na osnovi pokaznikov kislотно-osnovnoi bufernosti [Identification's problems the acid gleyed profile-differentiated gleyed soils of the Precarpathians]. Agrochemistry and soil science 69, 24–29 (in Ukraine).
- Truskavetskiy, R. S., 2003. Buferna zdatsnist gruntiv ta ih osnovni funktsii [The buffer capacity of soils and their basic functions]. Newword, Kharkiv (in Ukraine).
- Tsvyk, T. I., Smaga, I. S., 2010. Vplyv sposobiv zemlevikoristannya ta umov transformatsii roslinnogo opadu na kislотно-osnovnu rivnovagu buruvato-podzolistih ogleenih gruntiv [Impact of land use and methods of plant transformation conditions precipitation of acid-base balance brownish-podzolic gleyed soils]. Scientific Bulletin of Chernivtsi University: «Biological systems» 4(2), 79–83 (in Ukraine).
- Vyznachnik ekologo-genetichnogo statusu ta rodyuchosti gruntiv Ukraini, 2005. Polupan M. I., Solovey V. B., Kisil V. I. et al. [Keys to environmental and genetic status and fertility of Ukraine's soils]. Koloobig, Kiev (in Ukraine).
- Zonn, S. V., 1994. Razvitie geneticheskoy diagnostiki pochv na osnove elementarnih pochvennih processov [Development of genetic diagnostics of soils on the basis of the elementary soil processes]. Eurasian Soil Science 4, 12–20 (in Russian).

Стаття надійшла в редакцію: 16.05.2016

THEORETICAL AND PRACTICAL ISSUES OF SOIL SCIENCE



V. A. Nikorych ✉ Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof.
I. V. Chervonogrodskaya

UDK 631.4

*Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University,
Kotsubinsky Str., 2, Chernivtsi, Ukraine, 58012*

COLOURISTIC CRITERIA OF S-MATRIX OF THE PRECARPATHIANS BROWNISH-PODZOLIC GLEYED SOILS

Abstract. The scientific literature dedicated to the analysis of peculiarities of the soils colouring and interconnection the genetic horizons colour as well as separate morphological elements with their properties have been analyzed. The identification of colour of genetic horizons in 20 profiles of brownish-podzolic gleyed soils of Ukrainian and Polish Precarpathians has been conducted. The colour of investigated genetic horizons and separate morphological elements was determined according to both national and international systems. The analysis of the appropriateness of national approaches rejecting and usage of the Munsell scale as a primary method for determining the soil samples colour has been carried out. The results of the survey of the respondents with different professional training ascertained that visual determination of colour range within morphological description of the soil is completely subjective. The correctness of procedure depends on the experience of soil scientists and colour homogeneity of the soil sample. Using of the Munsell scale reduces the errors in the determination by 70–80 %, which allows recommending the very approach as the principal one for the field descriptions.

Change of the investigated soils colour depending on the level of humidity has been established. The peculiarity of soil mass colour range depending on the aggregation and fractions size has been found out.

Based on the colouristic analysis it has been confirmed that chemical and mineralogical composition is the main factor of heterogeneity of the investigated soils horizons colour. It has been found out that heterogeneity of the colour range, and the appearing of bleached zones (as the result of iron removing) and fine dust on the surface of the aggregations is associated with gleying processes, impulse redox regime and metamorfization of soil mass.

It has been established that interdependence between the complex of statistical and fractal parameters, which indicates the relative optical heterogeneity of architectonics of the investigated soils ultra thin cuts which are characterized by optical heterogeneity on the macro-level. The processes of morphogenesis of self-similar elements of their architectonics cause the asymmetry and fluctuations of relative data and increasing of the half-width of the autocorrelation functions of orientation tomograms.

✉ Tel.: +38037-258-47-40, e-mail: v.nikorych@chnu.edu.ua

DOI: 10.15421/041605

Red and green shades are shown to be the basic components of the sample colour. Red ones are determined by red colour pigments, and the combination of red and green shades provides the formation of yellow tones.

The possibility of data conversion from the Munsell system into the CIE-L*a*b* system with minor deviations has been shown. 2,5Y5 / 4 in Munsell system corresponds to the following data in the CIE-L*a*b* system: $L^* = 41,23$; $a^* = 5,59$; $b^* = 20,06$ (manual calculation) and $L^* = 41,22$, $a^* = 4,97$, $b^* = 19,44$ (automatic transfer using the computer program Munsell Conversion 4.01).

Key words: colouristic criteria, brownish-podzolic soils, Munsell scale, CIE-L*a*b*.

УДК 631.4

В. А. Никорич

канд. биол. наук, доц.

И. В. Червоногородская

Черновицкий национальный университет им. Ю. Федьковича,

ул. Коцюбинского, 2, г. Черновцы, Украина, 58012,

тел.: +38037-258-47-40, e-mail: v.nikorych@chnu.edu.ua

КОЛОРИСТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ S-МАТРИЦЫ БУРОВАТО-ПОДЗОЛИСТЫХ ОГЛЕЕННЫХ ПОЧВ ПРЕДКАРПАТЯ

Аннотация. Проведено определение окраски генетических горизонтов в 20 профилях буровато-подзолистых оглеенных почв Предкарпатья Украины и Польши. Цвет исследуемых генетических горизонтов и отдельных морфологических элементов определялся с применением национальной и международной системы. Проведен анализ целесообразности отказа от национальных подходов и использования шкалы Манселла в качестве основного метода определения окраски почвенных образцов в полевых условиях.

Установлено изменение окраски исследуемых почв в зависимости от уровня увлажненности, агрегированности и размера фракций. На основе колористического анализа подтверждено, что главным фактором анизотропности (неоднородности) окраски горизонтов исследуемых почв является химический и минералогический состав. Установлены причины неоднородности цветовой гаммы и взаимосвязь между комплексом статистических и фрактальных параметров.

Показано, что базовыми составляющими окраски образца выступают красные и зеленые оттенки. Красные оттенки детерминированы красноцветными пигментами, а комбинация красных и зеленых оттенков отвечает за формирование желтых тонов.

Продemonстрирована возможность конверсии данных из системы Манселла в систему CIE-L*a*b* с незначительными отклонениями – 2,5Y5 / 4 в системе Манселла соответствуют в системе CIE-L*a*b* значениям $L^* = 41,23$; $a^* = 5,59$; $b^* = 20,06$ (расчет в ручном режиме) и $L^* = 41,22$, $a^* = 4,97$, $b^* = 19,44$ (автоматический трансфер с помощью компьютерной программы Munsell Conversion 4.01).

Ключевые слова: колористические критерии, буровато-подзолистые почвы, шкала Манселла, CIE-L*a*b*.

УДК 631.4

В. А. Нікорич

канд. біол. наук, доц.

І. В. Червоногородська

Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича,

вул. Коцюбинського, 2, м. Чернівці, Україна, 58012,

тел.: +38037-258-47-40, e-mail: v.nikorych@chnu.edu.ua

КОЛОРИСТИЧНІ КРИТЕРІЇ S-МАТРИЦІ БУРОВАТО-ПІДЗОЛИСТИХ ОГЛЕЄНИХ ҐРУНТІВ ПЕРЕДКАРПАТТЯ

Анотація. Проведено визначення забарвлення генетичних горизонтів в 20 профілях буровато-підзолистих оглеєних ґрунтів Передкарпаття України та Польщі. Колір досліджуваних генетичних горизонтів та окремих морфологічних елементів визначався із застосуванням національної та міжнародної системи. Проведено аналіз доцільності відмови від національних підходів та використання шкали Манселла, як основного методу визначення забарвлення ґрунтових зразків.

Встановлено зміну забарвлення досліджуваних ґрунтів залежно від рівня зволоженості, агрегованості та розміру фракцій. На основі колористичного аналізу підтверджено, що головним чинником анізотропності (неоднорідності) забарвлення ґрунтових горизонтів досліджуваних ґрунтів є хімічний та мінералогічний склад. Встановлені причини неоднорідності кольорової гами та взаємозв'язок між комплексом статистичних і фрактальних параметрів.

Показано, що базовими складовими забарвлення зразка є червоні та зелені відтінки. Червоні відтінки детерміновані червоноколірними пігментами, а комбінація червоних та зелених відтінків відповідальна за формування жовтих тонів.

Продемонстрована можливість конверсії даних з системи Манселла у систему CIE-L*a*b* з незначними відхиленнями – 2,5Y5/4 в системі Манселла відповідають в системі CIE-L*a*b* значенням L*=41,23; a*=5,59; b*=20,06 (розрахунок в ручному режимі) та L* = 41,22, a* =4,97, b* = 19,44 (автоматичний трансфер за допомогою комп'ютерної програми Munsell Conversion 4.01).

Ключові слова: колористичні критерії, бурувато-підзолисті ґрунти, шкала Манселла, CIE-L*a*b*.

ВСТУП

Однією з найінформативніших морфологічних ознак ґрунту є забарвлення його твердої фази. Це найбільш доступна і, перш за все, помітна морфологічна ознака, суттєвий показник належності ґрунту до того чи іншого типу, що визначається кольором тих речовин, з яких він складається, а також гранулометричним складом, фізичним станом і ступенем зволоження. Колір дає первинну інформацію щодо хімічного складу та стану ґрунту. Він широко використовується як параметр ґрунтогенезу і доступний до визначення з мінімальним лабораторним обладнанням. Опис кольору входить до числа обов'язкових процедур діагностики ґрунтів у світовій та всіх національних класифікаціях (Nazarenko et al., 2006; Rossel et al., 2006).

У вітчизняній класифікації за часів В. В. Докучаєва прийнятий вербальний опис забарвлення. Для цієї процедури широкий загальний українських ґрунтознавців до цих пір використовує трикутник Захарова. У вершинах трикутника лежать чорний, білий та червоний колір, згідно якого колористична гама S-матриці отримується шляхом змішування забарвлень у напрямку від однієї до іншої вершини. Віддамо шану цій системі, оскільки саме завдяки їй багато ґрунтів одержали типову назву відповідно до свого кольору (підзол, чорнозем, бурозем, сірозем, каштановий тощо), а відповідні слов'янські назви увійшли у термінологічний апарат світового ґрунтознавства. Поряд з цим варто відмітити, що процедура діагностики хоч доступна і зручна, але абсолютно суб'єктивна, важко відтворюється і майже не піддається математизації, до того ж не позбавлена грубої помилки, адже чорний і білий – це не колір (Nazarenko et al., 2003, 2006).

У більшості закордонних класифікацій, в тому числі і в міжнародній, колір ґрунтів описується в системі Манселла як показник станів з трьох вимірюваних величин: тон, інтенсивність та відтінок (hue, value, chroma) (IUSS, WRB, 2014). Тон – переважаючий колір спектру, який визначається довжиною хвилі. Інтенсивність – міра світлого або темного забарвлення, пов'язана із загальною кількістю відбитого світла. Відтінок характеризує чистоту або вираженість кольорів спектру. На основі цих трьох критеріїв розроблений стандарт колірних таблиць (шкала Манселла). Для кожного тону відводиться окрема сторінка атласу. По вертикалі розташовані одиниці інтенсивності, а по горизонталі – одиниці відтінку. На зворотному боці палетки даються назви кольорів та їх символи, що реально зменшує суб'єктивізм при діагностиці (Kirillova et al., 2015).

S-матриця ґрунту рідко буває однорідною, що змушує використовувати кілька кольорів, один з яких визначається як основний. Фіксується плямистість забарвлення, яку характеризують трьома показниками: контрастністю (слабка, виразна, помітна), кількістю плям (мала – <2 % площі; звичайна – 2–20 %; висока – 20 %) і розмірами плям (дрібні – з довжиною по довшій вісі не < 5 мм; середні – 5–15; великі – 15 мм) (Rossel et al., 2006).

Для потреб ґрунтознавства взято п'ять основних тонів: червоний (R), жовтий (Y), зелений (G), синій (B) і фіолетовий (P). В якості додаткових тонів також використовують п'ять тонів: жовто-червоний (YR), зелено-жовтий (GY), синьо-зелений (BG), фіолетово-синій (PB) і червоно-фіолетовий (RP). Кожен основний і додатковий тон мають по 10 градацій. Тони утворюють коло, що ділиться на 100° , при цьому кожен градус має свій індекс, наприклад, 10 YR або 5 Y. Ступінь освітлення варіює від світлого (8) до темного (2). Крайні показники: 10 – відбитий спектр, 1 – поглинутий спектр). Відтінок або чистота тону також варіює від 1 до 8. Користуючись шкалою Манселла, можна дуже точно визначити забарвлення ґрунту та отримати математичний вигляд запису. У символах це виглядає наступним чином: 10 YR 6/3, що розшифровується як 10 YR (10 – жовто-червоний) тон інтенсивністю 6 з відтінком 3. Назва кольору – палево-бурий (Vodyanitskii, 2006; Rossel et al., 2006). Зручність використання очевидна, а завдання ґрунтознавця зводиться до пошуку в альбомі того чіпа, колір якого найбільш повно відповідає забарвленню ґрунтового зразка (Kirillova et al., 2015).

Чому так важливо використовувати систему, яка піддається математизації? Справа не тільки в зменшенні суб'єктивності. Використання кольороподілу за Манселлом дозволяє застосовувати для ідентифікації забарвлення спектрофотометри, і не тільки стаціонарні. Варто відмітити, що подібні можливості вже реалізовані в прикладних програмах для мобільних пристроїв, зокрема для телефонів, а перспективи – очевидні. Проте цей підхід потребує конверсії. Зокрема, в системі Манселла основна характеристика (колірний тон) виражена в полярних координатах, а тому для статистичних розрахунків потрібне їх перетворення. Вдала конверсія була запропонована Blavet et al., 2000, які літеро-числову характеристику колірному тону переводили в кутовий показник тону. Це виявилось ефективним прийомом при проведенні статистичного аналізу, а також дозволило враховувати колористичну неоднорідність горизонту.

Kirillova et al. (2015) ще більш точною і зручною системою визначення забарвлення вважають систему CIE- $L^*a^*b^*$. На думку авторів, вона однозначно визначає колір і є універсальним рівноконтрастним колірним простором, в межах якого колористична анізотропність ґрунтів виявляється краще, ніж за Манселлом. Дана оптична система в декартових координатах кількісно відображає внесок чотирьох основних кольорів. Вісь абсцис характеризує ступінь червоності ($+a^*$) і зеленості ґрунту ($-a^*$) від +100 до -100, вісь ординат – ступінь жовтизни ($+b^*$) і синяви ($-b^*$) від +100 до -100, точка на початку координат – сірий колір. Третя вісь, перпендикулярна площині $a^* - b^*$, визначає світлість ґрунту L^* від 0 до 100. Це апаратно-незалежна система, яка задає кольори без врахування особливостей їх відтворення (Barn, Torrent, 2002).

Очевидно, що на сучасному етапі розвитку ґрунтознавчої науки не достатньо теоретичних та практичних розробок для однозначного вирішення питання. Потрібні більш глибокі дослідження взаємозв'язку колористичних характеристик S-матриці ґрунту. Варто остаточно визначитись з найбільш адекватними системами ідентифікації забарвлення як при польових дослідженнях, так і в лабораторних умовах. Доцільно переглянути традиційні підходи на користь використання шкал, які дадуть змогу відійти від суб'єктивності та створить передумови для автоматизації діагностики колористичних характеристик ґрунту.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктом даної роботи були колористичні критерії S-матриці бурувато-підзолистих оглеєних ґрунтів Передкарпатті України та Польщі. Ареал розповсюдження із зазначенням місця розташування розрізів, а також умови ґрунтоутворення наведені в нашій попередній публікації (Nikorych et al., 2013).

Для з'ясування рівня суб'єктивності при визначенні забарвлення було проведено опитування 50 чоловік, з різною фаховою підготовкою. Респонденти визначали колір ґрунтових зразків візуально та за шкалою Манселла. Опитування проводилось на двох кардинально різних за забарвленням зразках ґрунту: He (розріз Laz-1/PL-MP-BO) – зразок характеризувався відносною монотонністю кольорової гами; ImpGl (розріз Isp-6/UA-CE-VY) – колористичні характеристики важко однозначно визначити через його неоднорідність забарвлення.

Такий підхід дозволив змодельовати просту і складну задачу для з'ясування можливих труднощів при виконанні полікомпонентних опитувань.

Нами було проведено колористичний аналіз всіх досліджуваних ґрунтів на макро- та мікроморфологічному рівнях. Колористичний макроморфологічний аналіз включав: визначення забарвлення ґрунтів при природній вологості в польових умовах; у повітряно-сухому стані; у зволоженому до найменшої польової вологості (НПВ); та за фракціями (<0,25, 0,25–0,5, 0,5–1, 1–2 мм). Визначення кольорової гами S-матриці проводилось згідно традиційних підходів (трикутник Захарова) та з використанням шкал Манселла.

Для макроморфологічного аналізу забарвлення за фракціями (<0,25, 0,25–0,5, 0,5–1, 1–2 мм) нами було виготовлено мініпрофілі ґрунтових розрізів. Для цього ми розфракціювали ґрунтову масу на ситах за методом Савінова-Ревута (Vadiunina, Korchagina, 1986). Ґрунтова маса за фракціями переносилась на аркуш картону, вкритий клейкою речовиною. Створені мініпрофілі фотографувались в уніфікованих за освітленням стаціонарних умовах камерою iSight (розподільна здатність 8 мегапікселів). Світлинні оброблялись та аналізувались за допомогою комп'ютерної програми MultiScan Base.

Для фіксації забарвлення ґрунту при оптимальному зволоженні використана техніка визначення НПВ на гіпсових пластинах за Ніколаєвим (Vadiunina, Korchagina, 1986). Перезволожений ґрунтовий зразок переносився на гіпсову пластину і в момент досягнення рівня НПВ (матова поверхня) фотографувався аналогічною камерою із дотриманням єдності в кондиціях освітлення.

PSD аналіз проводився шляхом лазерного сканування мікроморфологічних шліфів в кілька етапів: за основними кольоровими відтінками; з переведенням в градації сірого; зі скануванням зразків в цих же градаціях, з наступним розділом кожного відтінку на градації сірого та побудовою статистичних гістограм; побудовою автокореляційної кривої (для виявлення самоподібності кольорової гамми шліфів); розкладанням спектру в градаціях сірого за трьома відтінками у системі RGB (на основі чого будувались гістограми за частотою трапляння).

Лазерні скани оброблялись за допомогою прикладного пакету MatLab, в якому використовуються сучасні обчислювальні інструменти і засоби прикладного програмування, що прекрасно справляються з обробкою сигналів і зображень (MacDonald, Telehyna, 2002).

Конверсія забарвлення з системи Манселла в систему CIE-L*a*b* проводилась на модельному зразку з горизонту He(gl) (профіль Isp-6/UA-CE-VY), розрахунково за алгоритмом Кіріллової-Водяницького-Сілевої (Kirillova et al., 2015), а також автоматизовано з використанням комп'ютерної програми Munsell Conversion – 4.01. Конверсія здійснювалась в два етапи: трансфер кольору ґрунтового зразка з системи Манселла в колірні координати системи CIE-XYZ; трансфер колірних координат CIE-XYZ в значення CIE-L*a*b*.

У Munsell Conversion – 4.01 були отримані значення XYZ для колірного тону Hue з кроком 0.5 одиниці від 0.5 до 10.0 для 10 літерних діапазонів (B, BG, G, GY, P, PB, R, RP, Y, YR). Крок Value (інтенсивність) також становив 0.5 одиниць в діапазоні від 0.5 до 9.5 (19 значень). Насиченість кольору Chroma – в діапазоні від 0 до 32. Програма здатна видати 121600 комбінацій H,V,C. Половина варіантів не мають значень XYZ, тому загальна кількість генерованих кольорів була меншою за 67574.

Всі вони зводились в довідкову таблицю, що повністю охоплювала кольори атласу Манселла для ґрунтів. Трансформація показників HVC в XYZ проводилась одночасно з перетворенням в координати в CIE-L*a*b*.

Алгоритм розрахункової конверсії більш детально наведений в обговоренні результатів.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Доцільність зміни національних підходів у визначенні забарвлення ґрунтів.
У результаті статистичної обробки результатів опитування респондентів було підтверджено, що візуальне визначення кольорової гами твердої фази ґрунтів є суб'єктивним і тільки частково залежить від фахової підготовки учасників експерименту. Під час опитування за зразком № 1 (горизонт He, розріз Laz-1/PL-MP-BO) було отримано 10 варіантів забарвлення (табл. 1).

Таблиця 1

Результати візуального визначення забарвлення ґрунту
групою людей із різною фаховою підготовкою

Зразок, горизонт, профіль	Варіанти визначення забарвлення	Варіанти в кількостях, чол.	Відсоток від опитаних, %	Фактичний колір (шифр та назва) за Манселлом
Зразок № 1 He розріз Laz-1/ PL-MP-BO	Сірий (світліший чи темніший)	14	28	
	Сіруватий + світло-коричневий	6	12	
	Світло-коричневий	16	32	
	Кавовий	6	12	2,5 Y 6/3
	Кремовий	2	4	Тьмяно –
	Палево-коричневий	1	2	жовтий
	Сизуватий	1	2	Dull yellow
	Сірувато-жовтий	1	2	
	Світло-світло бурий	1	2	
	Коричневий	2	4	
Зразок № 2 ImpGI розріз Isp-6/ UA-CE-VY	Світло-коричневий	6	12	
	Піщаний + світло-жовтий	3	6	10 YR 5/8
	Жовтий	5	10	Жовтувато- бурий
	Рудий із відтінками	10	20	Yelowish brown (матричний)
	Жовтувато-бурий із світлим відтінком	6	12	
	Буруватий + світло-сірий	3	6	
	Паливо-бурий (неоднорідний)	3	6	5Y7/2
	Сірий із коричневим відтінком	5	10	Світло-сірий
	Залізистий із відтінками	3	6	Light gray
	Іржавий із відтінками	4	8	(периферійний)
	Сірий із гірчично-жовтим відтінком	2	4	

Найбільша кількість опитаних (32 %) визначили забарвлення зразка як світло-коричневе, а 28 % – як сірий із різними відтінками. Для 12 % респондентів колір ґрунтового зразка не відрізнявся від забарвлення побутових речей, оскільки вони його визначили як кавовий, що взагалі є надто далеким від реальних кольорових відтінків, які використовуються в ґрунтознавстві. При визначенні нами забарвлення зразка за Манселлом виявилось, що кольорова гама відноситься до 2,5 Y 6/3 (тьмяно-жовтий). Найближчим до коректного був варіант «сірувато-жовтий», що набрав лише 2 %.

Опитування за зразком № 2 ImpGI (розріз Isp-6/UA-CE-VY) показало аналогічні результати – 11 вербальних варіантів забарвлення з ще більш нереальними кольорами. Очевидно, це зумовлено кольоровою анізотропією зразка. Найбільша кількість

опитаних (20 %) визначили колір як рудий з відтінками. Дещо менше (12 %) отримали два варіанти – жовтувато-бурий та світло-коричневий. 10 % респондентів назвали забарвлення зразка жовтим та сірим із коричневим відтінком. При визначенні нами забарвлення зразка за Манселлом виявилось, що кольорова гама відноситься до 10 YR 5/8 (основний колір – жовтувато-бурий, периферійний – світло-сірий). Найближчим до коректного був варіант жовтувато-бурий із світлим відтінком, що набрав лише 12 %.

Другий етап опитування полягав у визначенні цією ж групою респондентів забарвлення вищезгаданих зразків з використанням шкали Манселла. В результаті було отримано вже тільки два варіанти, де коректний – 2,5 Y 6/3 (тьмяно – жовтий), набрав 88 % , а варіант 2,5 Y 6/2 (сіро-жовтий) – 12 % зі 100 %. При цьому слід зазначити відносну близькість двох кольорових відмін (табл. 2).

Таблиця 2

Результати визначення забарвлення ґрунту групою людей із різною фаховою підготовкою за шкалою Манселла					
Зразок, горизонт, профіль	Варіанти визначення забарвлення за Ман- селлом	Варіанти в кількос- тях, чол.	Відсоток від опитаних, %	Колір	
				Шифр	Назва
Зразок № 1 He, розріз Laz-1/ PL-MP-BO	2,5 Y 6/3	44	88	2,5 Y 6/3	Тьмяно – жовтий Dull yellow
	2,5 Y 6/2	6	12	2,5 Y 6/2	Сірувато-жовтий Grayish yellow
Зразок № 2 ImpG1 розріз Isp-6/ UA-CE-VY	10YR 5/6, 5Y7/1	4	8	10 YR 5/6; 5Y7/1	Жовтувато-бурий / Yellowish brown Світло-сірий / Light gray
	10YR 6/8, 5Y8/1	3	6	10YR 6/8, 5Y8/1	Яскраво жовтувато- бурий / Bright yellowish brown Світло-сірий / Light gray
	10YR 7/6, 5Y7/1	2	4	10YR 7/6, 5Y7/1	Яскраво жовтувато- бурий / Bright yellowish brown Світло-сірий / Light gray
	10YR 6/6, 5Y7/1	5	10	10YR 6/6, 5Y7/1	Яскраво жовтувато- бурий / Bright yellowish brown Світло-сірий / Light gray
	10YR 6/6, 5Y7/2	32	64	10 YR 6/6; 5Y7/2	Яскраво жовтувато- бурий / Bright yellowish brown Світло-сірий / Light gray
	10YR 4/6, 2,5Y7/2	1	2	10YR 4/6, 2,5Y7/2	Brown – бурий; Сірувато-жовтий / Grayish yellow
	10YR 5/6, 5Y7/2	3	6	10YR 5/6, 5Y7/2	Жовтувато-бурий / Yellowish brown Світло-сірий / Light gray

Результати визначення респондентами кольору горизонту ImpGl (розріз Isp-6/UA-CE-VY) за допомогою атласу Манселла показали тільки 7 варіантів, при цьому більшість з них були близькими. Найбільший відсоток (64 %) набрав коректний варіант 10YR 6/6 – яскраво жовтувато-бурий (основний колір), 5Y7/2 та світло-сірий (периферійний колір). 10 % визначили основне забарвлення також як 10YR 6/6, але периферійне, вже як 5Y7/1 (майже аналогічний варіант). 8 % вибрали для зразка шифр 10 YR 5/6 (жовтувато-бурий) та 5Y7/1 (світло сірий).

Отже, опитування та статистична обробка результатів показали, що візуальне визначення кольорової гами при морфологічному описі ґрунту є суб'єктивним, а коректність залежить від досвідченості ґрунтознавця та моноколірності зразка. Використання шкали Манселла зменшує похибки на 70–88 %, що дозволяє рекомендувати саме цей спосіб при морфологічному описі в польових умовах.

Діагностика забарвлення на макроморфологічному рівні. Нами було проведено колористичний аналіз даних ґрунтів за природної вологості, у повітряно-сухому стані, у зволоженому до НПВ та за фракціями (<0,25, 0,25–0,5, 0,5–1, 1–2 мм) (табл. 3). Результати аналізу розрізу Isp-6/UA-CE-VY показали тенденцію збереження основного тону забарвлення (горизонт He(gl)) у повітряно-сухому стані та у фракції <0,25 (2,5Y6/3 – тьмяно-жовтий), а також ідентичність забарвлення у зразках за природної вологості та у фракціях 0,5–1 та 1–2 мм, що мають сірувато-жовте забарвлення (2,5Y6/3).

Таблиця 3

Забарвлення за шкалою Манселла ґрунтів у різних кондиціях на прикладі розрізів Isp-6/UA-CE-VY та Laz-2/PL-MP-BO

Гори- зонт	Шифр забарвлення						
	У непору- шеному стані при природ- ній вологості	У повітря- но-сухому стані	При зволю- женні до НВ	За фракціями у повітряно-сухому стані			
				<0,25	0,5–0,25	1–0,5	2–1
Isp-6/UA-CE-VY							
He(gl)	2,5 Y 5/4	2,5 Y6/3	2,5 Y4/3	2,5 Y6/3	2,5 Y6/2	2,5 Y6/2	2,5 Y6/2
Eh(gl)	2,5 Y 6/4	2,5 Y7/3	2,5 Y5/4	2,5 Y7/3	2,5 Y6/3	5 Y 7/2	5 Y7/2
IEGl	7,5 YR 4/6	2,5 Y 7/2	10 YR 4/4	2,5 Y6/4	2,5 Y6/4	2,5 Y6/4	2,5 Y6/4
IpmGl	2,5 Y 6/3	10YR 5/6	2,5 Y5/4	2,5 Y6/4	2,5 Y6/4	2,5 Y7/3	2,5 Y7/3
	2,5 Y 6/2	10YR 6/6					
	7,5 YR 5/6	5 Y 7/2				2,5 Y6/4	2,5 Y6/4
Laz-2/PL-MP-BO							
He орн.	10YR 4/3	2,5 Y6/3	10YR 3/3	2,5 Y6/3	2,5 Y6/3	2,5 Y6/3	2,5 Y5/3
Eh(gl)	10YR 5/6	2,5 Y6/3	10YR 4/4	2,5 Y5/3	2,5 Y5/3	2,5 Y5/3	2,5 Y5/3
	10YR 6/2	2,5 Y6/6					
I ^{feh} mE	10YR 4/6	10YR 6/6	10YR 4/6	2,5 Y6/4	2,5 Y5/4	2,5 Y5/4	2,5 Y5/4
	10YR 2/2						
I ^{fet} me	10YR 7/3	10YR 6/4	10YR 4/4	2,5 Y6/4	2,5 Y5/4	2,5 Y5/4	2,5 Y5/4
	10YR 4/6						
I ^{ht} mP	10YR 3/4	10YR 7/6	10YR 5/6	2,5 Y6/4	2,5 Y6/4	2,5 Y6/4	2,5 Y6/4
	10YR 5/4						
	10YR 7/3						

Горизонт Eh(gl) характеризується наявністю вибіленості в зв'язку з елювіальними процесами ґрунтоутворення, про що свідчить домінування світло-жовтих та світло-сірих відтінків (2,5Y7/3, (2,5Y5/4), але присутність гумусових речовин у дрібних фракціях, зокрема у 0,5–1 та 1–2 мм надає їм більш інтенсивних сірих відтінків (2,5Y7/2 – світло-сірий).

У горизонті IEGl спостерігались труднощі у визначенні матричного та периферійного забарвлення. При висиханні активніше проявлялись ознаки, пов'язані з окисненням феруму, про що засвідчує наявність бурих (7,5Y4/6) кольорів у непорушених зразках при природній вологості. Фракції агрегатів мають тьмяно-жовте забарвлення (2,5Y6/4). Такі ж тенденції спостерігаються і в горизонті ImpGl. Отже, в ілювіальних горизонтах за бурі відтінки відповідає мікрочасти, вірогідно з вищим вмістом окиснених сполук феруму. Неоднорідність кольорової гами пов'язана з оглеєнням та глеє-елювіальним процесом, що веде до появи вибілених (знезалізненних) зон та появи тонкодисперсної пудри на поверхні агрегатів і внутрішньоагрегатних тріщин II і III порядку.

Результати аналізу розрізу Laz-2/PL-MP-BO у горизонті Неорн виявили ідентичність забарвлення ґрунту у сепарованому стані за всіма фракціями та у повітряно-сухому стані (2,5Y6/3). Горизонт Eh(gl) також характеризується наявністю вибіленості в зв'язку з елювіальними процесами ґрунтоутворення (домінування жовто-сірих відтінків). Протікання цих процесів є причиною кольорової неоднорідності зразків. Горизонт I^{eh}_{me} характеризується активнішим проявом ознак, пов'язаних із окисненням ферумом, про що засвідчує наявність бурих (10YR4/6) кольорів у непорушеному вигляді за природної вологості, та жовтуватих відтінків, спричинених процесами метаморфізації (10YR 6/6). Наявність елювіальних процесів спричиняє висвітлення при висиханні (2,5 Y5/4). У I^{et}_{me} та у I^{ht}_{mp} спостерігаються такі ж тенденції, як і в попередньому горизонті.

Отже, неоднорідність кольорової гами пов'язана з оглеєнням та імпульсним окисно-відновним режимом, що призводить до появи вибілених зон (знезалізненних зон) і появи тонкодисперсної пудри на поверхні агрегатів, і процесами метаморфізації, які проходять у ілювіальних горизонтах.

Фотоколористичний аналіз мікроморфологічного зрізу. Для визначення варіацій забарвлення на мікрорівні та їх внеску у загальну кольорову гаму зразка нами був проведений фотоколористичний аналіз всіх генетичних горизонтів досліджуваних ґрунтів. Наведемо результати лазерного сканування мікроморфологічних шліфів на прикладі горизонту He(gl) (розріз Isp-6/UA-CE-VY).

Основні відтінки зразка (рис. 1, А) ми перевели в градації сірого (рис. 1, Б), після чого скановані зразки в цих же градаціях розклали і отримали гістограму в градаціях сірого за кожним відтінком (рис. 2).

Сіра шкала – це контрольне зображення рівномірного ряду оптичної щільності нейтрально-сірих полів, виготовлених на прозорій або непрозорій основі. Така конверсія потрібна для оцінки та

вимірювань якості тонової передачі при зйомці та скануванні. Сіра шкала відображає інтенсивність світла в кожному пікселі видимої частини електромагнітного спектра та використовується при конвертації зображень в градації сірого в колірну модель.

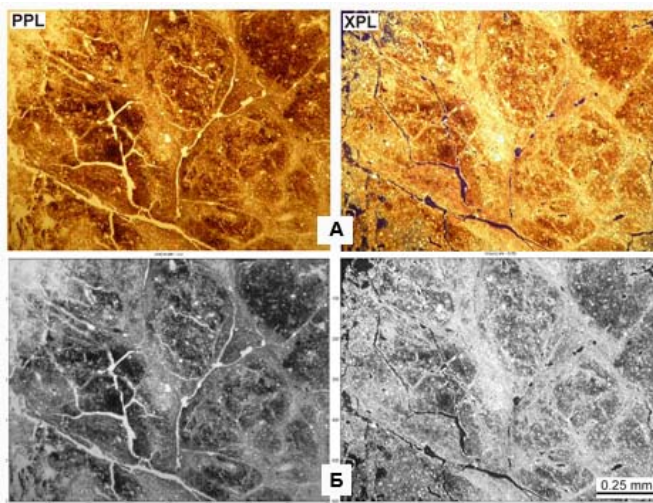


Рис. 1. Забарвлення мікроморфологічного скана до (А) та після (Б) конверсії в градації сірого

Оскільки сіра шкала розташовується на діагоналі в колірному кубі моделі RGB, то кожна складова отримує однакові значення, рівні значенням відтінків сірого.

Автокореляційна функція (АКФ) показала самоподібність кольорової гамми проаналізованих шліфів та тісну кореляцію функції оптичних сигналів між собою при зміщені на певну величину незалежної змінної (рис. 2). Побудова АКФ необхідна для знаходження закономірностей в ряду даних, зокрема у періодичності та повторюваності колірних сигналів. Якщо вихідна функція є чітко періодична, то на графіку АКФ також буде облігатно періодичною. Таким чином з отриманих кривих можна судити про періодичність базової функції, а отже і про її частотні характеристики досліджуваного об'єкту.

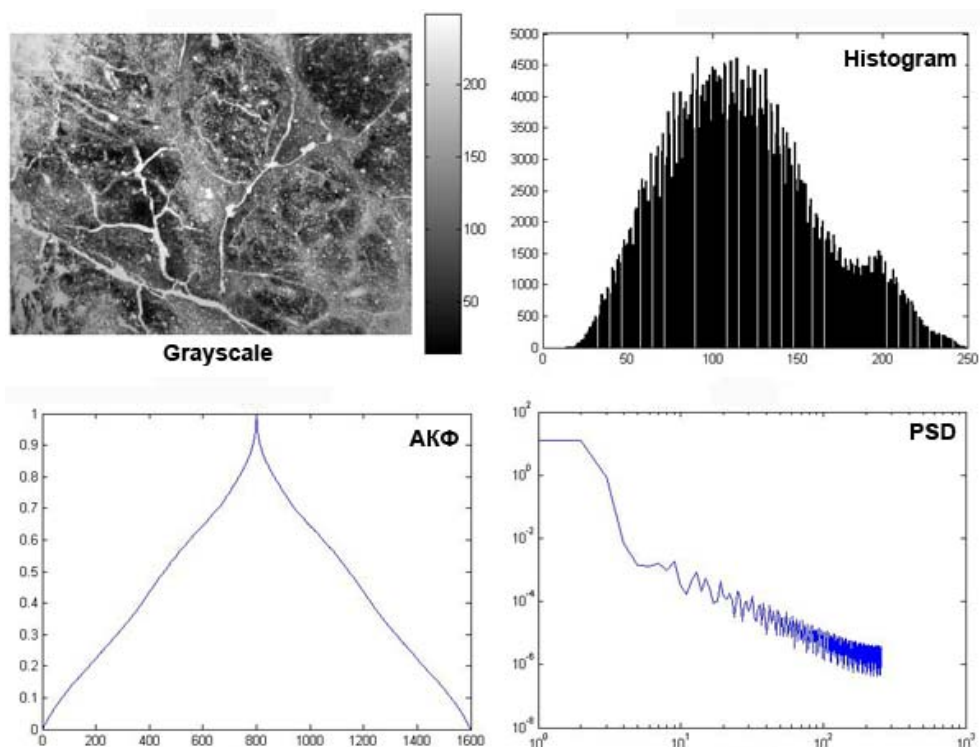


Рис. 2. Гістограми градації сірого та автокореляційні криві самоподібності

Використавши лазерну поляриметрію, нами був встановлений взаємозв'язок між комплексом статистичних і фрактальних параметрів, на основі яких ми отримали підстави для ствердження про відносну оптичну анізотропність архітекtonіки об'єкта. Останній на макрорівні також характеризувався оптичною неоднорідністю. Процеси формування самоподібних елементів їх архітекtonіки зумовлюють асиметрію та флуктуації відносних значень і збільшення напівширини автокореляційних функцій орієнтаційних томограм, а PSD-спектр описує як розподіляється енергія випадкового процесу в частотній області. Він показує наскільки вся кольорова гамма «зливається» в один колір.

Розклад зразка в градаціях сірого за трьома кольорами (система RGB) дозволив отримати гістограму за частотою барв, що зустрічалися. Це дозволило визначити внесок кожного з колористичних компонентів в спільну кольорову гаму (рис. 3).

Аналіз спектру показав, що базовими складовими забарвлення зразка є червоні та зелені відтінки. Червоні відтінки детерміновані червоноколірними пігментами, а комбінація червоних та зелених відтінків відповідальна за формування жовтих тонів.

Це підтверджує головний внесок окисних форм феруму у забарвлення генетичних горизонтів досліджуваних ґрунтів.

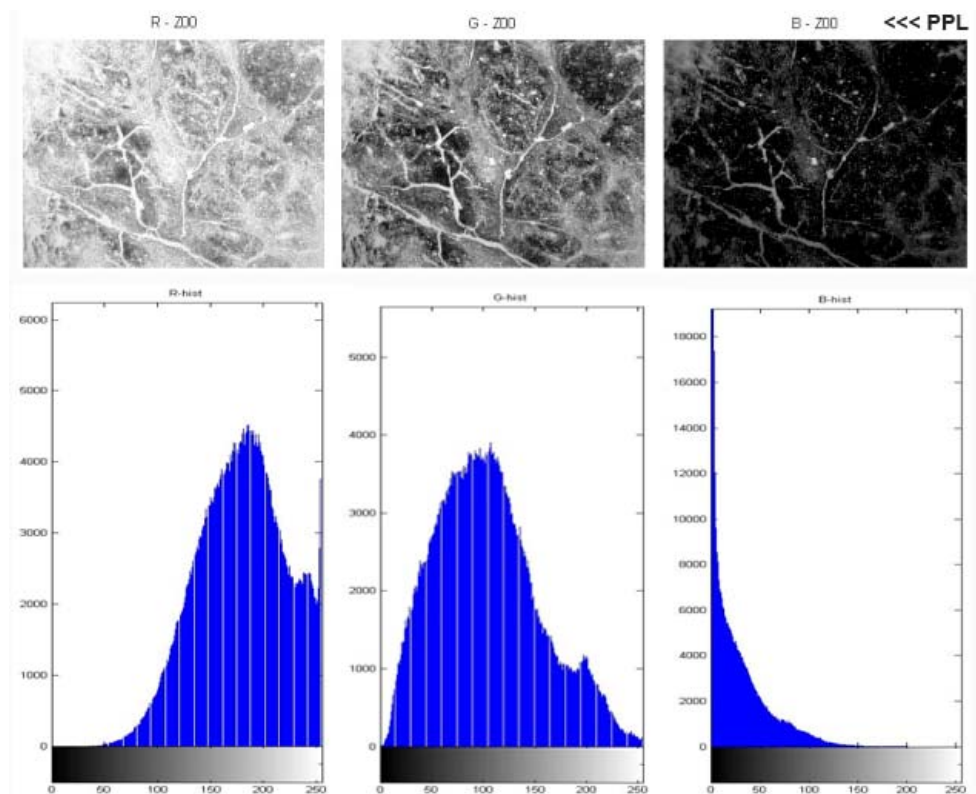


Рис. 3. Гістограми частоти трапляння кольорів в градаціях сірого за RGB та внесок кожного з компонентів в загальну кольорову гаму

Оптична система Манселла ефективна для польового визначення кольору ґрунту, але не дозволяє з високою точністю оцінити внесок пігментів у забарвлення. Вирішити цю проблему можна шляхом трансферу колірних характеристик (Vodyanitskii, Shishov, 2004). З цією метою доцільно використовувати іншу оптичну систему – CIE-L*a*b*, що є універсальним колірним простором в декартових координатах. Для ґрунтознавців вона зручна тим, що величина показника L* (світлоти) залежить від вмісту в ґрунті темного пігменту – гумусу; величина показника a* (червоності) прямо пропорційна вмісту в ґрунті червоноколірного пігменту гематиту $\alpha\text{Fe}_2\text{O}_3$; величина показника b* (жовтизни) прямо пропорційна вмісту в ґрунті жовтоколірного пігменту гетиту αFeOOH (Vodyanitskii, 2006). Цю систему широко застосовують для характеристики кольору при спектрометричному аналізі в лабораторних умовах (Karmanov, 1974; Vodyanitskii et al., 2003; Sánchez-Marañón et al., 1997; Vodyanitskii, 2006). Існує позитивний досвід використання системи CIE-L*a*b* для оцінки впливу агрегації, розміру і складу гранулометричних фракцій на колір ґрунтів (Sánchez-Marañón et al., 2004).

Нами був здійснений трансфер колірних характеристик досліджуваних ґрунтів з системи Манселла в систему CIE-L*a*b* з використанням різноманітних алгоритмів перетворення координат з одного простору в інший (Rossel et al., 2006; Beaudette et al., 2013; Kirillova et al., 2015). На наш погляд, найвдалішим для цих потреб є алгоритм Кіріллової-Водяницького-Сілевої (Kirillova et al., 2015), із застосуванням розрахункового переведу та автоматичного трансферу за допомогою програми Munsell Conversion Ver. 4.01. Цей алгоритм пройшов вдалу верифікацію на всіх наших об'єктах.

Продемонструємо результати трансферу на прикладі модельного зразка (профіль Isp-6/UA-CE-VY, горизонт He(gl)). Згідно алгоритму (Kirillova et al., 2015) на першому етапі проводився трансфер кольору зразка з системи Манселла в колірні координати системи CIE-XYZ. Далі, трансфер колірних координат CIE-XYZ в значення CIE-L*a*b*.

Хроматична адаптація для переходу від джерела випромінювання до джерела D65 становила:

$$X = X_C \times 0,9904448 - Y_C \times 0,007168 - Z_C \times 0,011615 \quad (1)$$

$$Y = -X_C \times 0,012371 + Y_C \times 1,015594 - Z_C \times 0,002928 \quad (2)$$

$$Z = -X_C \times 0,003564 - Y_C \times 0,00677 + Z_C \times 0,918157 \quad (3)$$

Довідкові значення X_n , Y_n і Z_n колірних координат CIE-XYZ еталонної білої точки для джерела випромінювання D65 складали: $X_n = 0,950456$, $Y_n = 1$, $Z_n = 1,088754$.

$$rY = Y/Y_n \quad (4)$$

$$rX = X/X_n \quad (5)$$

$$rZ = Z/Z_n \quad (6)$$

Якщо $rX > 0,008856$, то $F_x = (rX)^{1/3}$, (7); за інших умов $F_x = 7,787 \times rX + 16/116$.

Якщо $rY > 0,008856$, то $F_y = (rY)^{1/3}$, (8); за інших умов $F_y = 7,787 \times rY + 16/116$.

Якщо $rX > 0,008856$, то $F_z = (rZ)^{1/3}$, (9); за інших умов $F_z = 7,787 \times rZ + 16/116$.

У результаті отримуємо наступні рівняння:

$$L^* = 116 \times F_y - 16 \quad (10)$$

$$a^* = 500 \times (F_x - F_y) \quad (11)$$

$$b^* = 200 \times (F_y - F_z) \quad (12)$$

Забарвлення модельного зразка за Манселлом – 2,5 Y 5/4. Згідно Munsell Conversion 4.01 знаходимо, що в CIE-XYZ даному кольору відповідають величини: $X_1 = 12,50$; $Y_1 = 12,0$; $Z_1 = 7,34$.

Отриманні значення ділимо на 100, щоб привести до діапазону (0,0–1,0).

Отже $X_C = 0,125$, $Y_C = 0,12$, а $Z_C = 0,0734$.

Проводимо хроматичну адаптацію за формулами 1–3:

$$X = 0,125 \times 0,9904448 - 0,12 \times 0,007168 - 0,0734 \times 0,011615 = 0,1220929$$

$$Y = -0,125 \times 0,012371 + 0,12 \times 1,015594 - 0,0734 \times 0,002928 = 0,12011$$

$$Z = -0,125 \times 0,003564 - 0,12 \times 0,00677 + 0,0734 \times 0,918157 = 0,0661348$$

У відповідності до формул 5–6 знаходимо значення колірних координат за відношенням до еталонної білої точки для джерела випромінювання:

$$rX = X/X_n = 0,1220929/0,950456 = 0,1284572$$

$$rY = Y/Y_n = 0,12011/1 = 0,12011$$

$$rZ = Z/Z_n = 0,0661348/1,088754 = 0,0607436$$

За рівняннями 7–9 обчислюємо значення F_x , F_y , F_z :

$$rX = 0,1284572 > 0,008856, \text{ тому } F_x = (rX)^{1/3} = (0,1284572)^{1/3} = 0,504567744$$

$$rY = 0,12011 > 0,008856, \text{ тому } F_y = (rY)^{1/3} = (0,12011)^{1/3} = 0,493393$$

$$rZ = 0,0607436 > 0,008856, \text{ тому } F_z = (rZ)^{1/3} = (0,0607436)^{1/3} = 0,393097404$$

За рівняннями 10–12 виводимо значення L^* , a^* і b^* :

$$L^* = 116 \times F_y - 16 = 116 \times 0,493393 - 16 = 41,233588$$

$$a^* = 500 \times (F_x - F_y) = 500 \times (0,504567744 - 0,493393) = 5,58735$$

$$b^* = 200 \times (F_y - F_z) = 200 \times (0,493393 - 0,393097404) = 20,0591192$$

Таким чином, вихідні дані в системі Манселла 2,5 Y5/4 відповідають в системі CIE-L*a*b* значенням $L^* = 41,23$; $a^* = 5,59$; $b^* = 20,06$. Автоматичний трансфер у Munsell Conversion 4.01 за цим шифром забарвлення дає наступні значення: $L^* = 41,22$, $a^* = 4,97$, $b^* = 19,44$. Алгоритм розрахунків легко піддається автоматизації, наприклад за допомогою MS Excel. При використанні автоматичного трансферу слід мати на увазі деяке відхилення порівняно з ручним розрахунком. У табл. 4 наведені колірні характеристики досліджуваних ґрунтів, які отримані при конверсії з системи Манселла в інші оптичні системи.

Таблиця 4

Результати трансферу колірних характеристик ґрунту з системи Манселла в інші оптичні системи

Горизонт, глибина	Шифр за Манселлом	X	Y	Z	x	y	L *	a *	b *	R	G	B	C	M	Y	K
Isp-6/UA-CE-VY																
He(gl), 4-21	2,5 Y5/4	19,84	19,77	10,39	3968	3954	51,57	2,24	27,59	155	133	91	20	28	45	19
	2,5 Y6/3	29,84	30,05	17,82	5840	3667	61,70	1,39	27,53	180	158	114	20	28	45	9
	2,5 Y4/3	12,06	12,00	6,98	3886	3865	41,22	2,04	20,76	126	109	79	19	26	38	30
	2,5 Y6/2	29,54	30,05	25,30	3480	3540	61,70	26	14,34	171	159	137	20	24	33	12
Eh(gl), 21-40	2,5 Y6/4	29,84	30,05	17,82	3840	3867	61,70	1,39	27,53	180	158	114	20	28	45	9
	2,5 Y7/3	42,41	43,06	32,39	3599	3654	71,60	54	21,24	201	183	149	20	27	40	1
	2,5 Y5/4	19,84	19,77	10,39	3968	3954	51,57	2,24	27,59	155	133	91	20	28	45	19
	2,5 Y6/3	29,84	30,05	17,82	5840	3667	61,70	1,39	27,53	180	158	114	20	28	45	9
	5 Y 7/2	41,59	43,06	36,99	34,19	3540	71,60	-1,92	15,25	193	184	159	20	23	33	4
IEGI 40-73	7,5 YR 4/6	13,87	12,00	3,92	4655	4029	41,22	13,85	34,40	145	102	56	20	37	54	23
	2,5 Y6/3	29,84	30,05	17,82	5840	3667	61,70	1,39	27,53	180	158	114	20	28	45	9
	2,5 Y 7/2	42,19	43,06	37,54	3436	3507	71,06	-13	14,59	196	184	160	20	24	33	3
	10YR 5/6	21,20	19,77	6,91	4428	4128	51,57	8,83	38,87	167	129	71	20	35	57	14
	10 YR 4/4	12,73	12,00	5,66	4189	3948	41,22	6,56	26,02	134	106	70	19	30	45	27
IpmGI >73	2,5 Y6/4	29,84	30,05	17,82	3840	3867	61,70	1,39	27,53	180	158	114	20	28	45	9
	7,5 YR5/6	22,20	19,77	8,03	4440	3954	51,57	13,44	34,91	172	126	79	20	38	56	12
	10YR6/6	31,62	30,05	12,90	4240	4030	61,70	7,93	38,39	193	154	96	20	35	58	4
	2,5 Y 6/2	29,54	30,05	25,30	3480	3540	61,70	26	14,34	171	159	137	20	24	33	12
	10YR 5/8	21,73	19,77	4,06	4770	4338	51,57	11,32	51,57	173	127	44	20	38	70	12
	5 Y 7/2	41,59	43,06	36,99	34,19	3540	71,60	-1,92	15,25	193	184	159	20	23	33	4
	2,5 Y5/4	19,84	19,77	10,39	3968	3954	51,57	2,24	27,59	155	133	91	20	28	45	19
	2,5 Y6/4	29,84	30,05	17,82	3840	3867	61,70	1,39	27,53	180	158	114	20	28	45	9
	2,5 Y7/3	42,41	43,06	32,39	3599	3654	71,60	54	21,24	201	183	149	20	27	40	1

Горизонт, глибина	Шифр за Манселлом	X	Y	Z	x	y	L *	a *	b *	R	G	B	C	M	Y	K
Laz-2/PL-MP-BO																
He _{опн} 1-17	10YR 4/3	12,50	12,00	7,34	3925	3769	41,22	4,97	19,41	130	107	81	13	28	39	29
	2,5 Y6/3	29,84	30,05	17,82	5840	3667	61,70	1,39	27,53	180	158	114	20	28	45	9
	10YR 3/3	6,93	6,55	3,65	4044	3822	30,77	5,13	17,87	104	84	60	19	27	37	39
	2,5 Y5/3	19,71	19,77	13,07	3751	3762	51,57	1,61	20,52	151	133	102	20	26	39	20
Eh(gl) 17-33	10YR 5/6	21,20	19,77	6,91	4428	4128	51,57	8,83	38,87	167	129	71	20	35	57	14
	10YR 6/2	30,12	30,05	26,11	3491	3483	61,70	2,44	13,08	174	158	139	20	26	33	11
	2,5 Y6/3	29,84	30,05	17,82	5840	3667	61,70	1,39	27,53	180	158	114	20	28	45	9
	2,5 Y6/6	30,25	30,05	11,67	4203	4176	61,70	2,90	41,55	187	156	90	20	32	58	6
	10YR 4/4	12,73	12,00	5,66	4189	3948	41,22	6,56	26,02	134	106	70	19	30	45	27
	2,5 Y6/4	29,84	30,05	17,82	3840	3867	61,70	1,39	27,53	180	158	114	20	28	45	9
	2,5 Y5/3	19,71	19,77	13,07	3751	3762	51,57	1,61	20,52	151	133	102	20	26	39	20
	2,5 Y5/6	20,17	19,77	6,12	4380	4292	51,57	3,88	41,98	162	131	65	20	31	57	16
ImE ^{feh} 33-75	10YR4/6	13,15	12,0	3,33	4618	4213	41,22	9,32	37,80	140	104	49	20	34	35	24
	10YR 2/2	3,28	3,13	2,07	3872	3688	20,54	3,62	11,09	76	62	49	19	25	30	50
	10YR7/3	43,35	43,06	33,66	3611	3587	71,60	3,30	19,47	204	182	152	19	28	40	0
	10YR 6/6	31,62	30,05	12,90	4240	4030	61,70	7,93	38,39	193	154	96	20	35	58	4
	2,5 Y6/4	29,84	30,05	17,82	3840	3867	61,70	1,39	27,53	180	158	114	20	28	45	9
ImE ^{feh} 33-75	10YR4/6	13,15	12,0	3,33	4618	4213	41,22	9,32	37,80	140	104	49	20	34	35	24
	10YR3/4	7,08	6,55	2,68	4341	4018	30,77	6,61	24,06	107	83	51	19	29	42	37
	10YR 6/4	30,80	30,05	18,92	3661	3767	61,70	4,69	25,38	184	156	118	20	31	45	7
	10YR 4/4	12,73	12,00	5,66	4189	3948	41,22	6,56	26,02	134	106	70	19	30	45	27
	2,5 Y5/4	19,84	19,77	10,39	3968	3954	51,57	2,24	27,59	155	133	91	20	28	45	19
I ^{ht} mp >106	10YR5/4	20,56	19,77	11,14	3995	3840	51,57	5,79	25,48	159	131	94	20	31	45	17
	10YR7/3	43,35	43,06	33,66	3611	3587	71,60	3,30	19,47	204	182	152	19	28	40	0
	10YR 7/6	44,56	19,77	11,14	3995	3840	51,57	5,79	25,48	159	131	94	20	31	45	17
	10YR 5/6	21,20	19,77	6,91	4428	4128	51,57	8,83	38,87	167	129	71	20	35	57	14
	2,5 Y6/4	30,80	30,05	18,92	3661	3767	61,70	4,69	25,38	184	156	118	20	31	45	7
	10YR5/4	20,56	19,77	11,14	3995	3840	51,57	5,79	25,48	159	131	94	20	31	45	17

ВИСНОВКИ

Встановлено, що візуальне визначення кольорової гами при морфологічному описі ґрунту є цілком суб'єктивним, а коректність залежить від досвідченості ґрунтознавця та моноколірності зразка. Використання шкали Манселла зменшує похибки у визначенні забарвлення на 70–80 %, що дозволяє рекомендувати саме цей спосіб як основний при польових дослідженнях.

Підтверджено, що головним чинником анізотропності забарвлення ґрунтових горизонтів досліджуваних ґрунтів є хімічний та мінералогічний склад, а неоднорідність кольорової гами та поява вибілених (знезалізнених) зон, а також тонкодисперсної пудри на поверхні агрегатів пов'язана з процесами оглеєння, імпульсним окисно-відновним режимом і процесами метаморфізації.

Встановлений взаємозв'язок між комплексом статистичних і фрактальних параметрів, який свідчить про відносну оптичну анізотропність архітекtonіки мікоморфологічних зрізів досліджуваних ґрунтів, які на макрорівні також характеризуються оптичною неоднорідністю. Процеси формоутворення самоподібних елементів їх архітекtonіки зумовлюють асиметрію та флуктуації відносних значень і збільшення напівширини автокореляційних функцій орієнтаційних томограм. Базовими складовими забарвлення зразка є червоні та зелені відтінки. Червоні відтінки детерміновані червоноколірними пігментами, а комбінація червоних та зелених відтінків відповідальна за формування жовтих тонів.

На модельному зразку (профіль Isp-6/UA-CE-VY, горизонт He(gl)) показана можливість конверсії даних з системи Манселла у систему CIE-L*a*b* з незначними відхиленнями: 2,5Y5/4 в системі Манселла відповідають в системі CIE-L*a*b* значенням $L^* = 41,23$; $a^* = 5,59$; $b^* = 20,06$ (ручний розрахунок) та $L^* = 41,22$, $a^* = 4,97$, $b^* = 19,44$ (автоматичний трансфер за допомогою Munsell Conversion 4.01). Для відповідної конверсії рекомендовано використовувати алгоритм Кіріллової-Водяніцького-Сілевої.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

- Barn, V., Torrent, J., 2002. Evidence for a simple pathway to maghemite in Earth and Mars soils. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 66(15), 2801–2806.
- Beaudette, D. E., Roudier, P., O'Geen, A. T., 2013. Algorithms for quantitative pedology: a toolkit for soil scientists. *Computers & Geosciences* 52, 258–268.
- Blavet, D., Mathe, E., Leprun, J. C., 2000. Relations between soil colour and waterlogging duration in a representative hillside of the West African granito-gneissic bedrock. *Catena* 39(3), 187–210.
- Vadyunina, A. F., Korchagina, Z. A., 1986. *Metody issledovaniya fizicheskikh svoystv pochv* [Methods of study of the physical properties of soil]. Moscow (in Russian).
- Vodyanitskii, Y. N., Goryachkin, S. V., Lesovaya, S. N., 2003. Iron oxides in burozems on red-colored deposits in European Russia and the color differentiation of soils. *Eurasian Soil Science* 36(11), 1145–1158.
- Vodyanitsky, Iu. N., Shishov, L. L., 2004. *Izucheniye nekotorykh pochvennykh protsessov po tsvetu pochv* [The study of some soil processes soil color]. Moscow (in Russian).
- Vodyanitsky, Iu. N., 2006. *Himiya, mineralogiya i tsvet ogleennykh pochv* [Chemistry, mineralogy and color of gleyed soils]. Moscow (in Russian).
- IUSS, WRB., 2014. World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. *World Soil Resources Reports* (106), 191.
- Karmanov, I. I., 1974. *Spektralnaya otrazhatelnaya sposobnost i tsvet pochv kak pokazateli ih svoystv* [The spectral reflectance and soil color as indicators of their properties]. Kolos, Moscow (in Russian).
- Kirillova, N. P., Vodyanitskii, Y. N., Sileva, T. M., 2015. Conversion of soil color parameters from the Munsell system to the CIE-L*a*b* system. *Eurasian Soil Science* 48(5), 468–475.
- MacDonald, R., Telegin, F. J., 2002. *Tsvet v promyshlennosti* [Color in the industry]. Logos, Moscow (in Russian).
- MultiScan Base. <http://www.multiscan.com.pl>
- Munsell Conversion – Version 4.01 <http://web.archive.org/web/20020809130910/standards.gretagmacbeth.com/cmc/munsell.exe>
- Nazarenko, I. I., Polchyna, S. M., Nikorych, V. A., 2003. *Gruntoznavstvo: pidruchnyk* [Soil

- Science]. Knyhy-XXI, Chernivtsi (in Ukrainian).
- Nazarenko, I. I., Polchyna, S. M., Dmytruk, Iu. M., Smaga, I. S., Nikorych, V. A., 2006. Gruntoznavstvo z osnovamy geologii [Soil Science with the basics of geology]. Knyhy-XXI, Chernivtsi (in Ukrainian).
- Nikorych, V., Polchyna, S., Szymanski, W., Skiba, S., 2013. Variaciyi morfohenetychnyx osoblyvostej buruvato-pidzolistykh gruntiv (Albeluvisols) Peredkarpattya zalezho vid typu bioheocenu [Variations of the morphogenetic features of the Precarpathians brownish-podzolic soils (Albeluvisols) depending on the biogeocenosis type]. Ecology and Noospherology 24(3–4), 24–41 (in Ukrainian).
- Rossel, R. A. V., Minasny, B., Roudier, P., McBratney, A. B., 2006. Colour space models for soil science. Geoderma 133, 320–337.
- Sánchez-Marañón, M., Delgado, G., Melgosa, M., Hita, E., Delgado, R., 1997. CIELAB color parameters and their relationship to soil characteristics in Mediterranean red soils. Soil science 162(11), 833–842.
- Sánchez-Marañón, M., Soriano, M., Melgosa, M., Delgado, G., Delgado, R., 2004. Quantifying the effects of aggregation, particle size and components on the colour of Mediterranean soils. European journal of soil science 55(3), 551–565.

Стаття надійшла в редакцію: 19.05.2016

SOIL PHYSICS



V. A. Gorban 
T. A. Strygina
M. V. Mandrygelia

Cand. Sci. (Biol.), Assoc. Prof.

UDK 631.434:581.5

*O. Honchar Dnipropetrovsk National University,
Gagarin ave., 72, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010*

FEATURES OF STRUCTURAL-AGGREGATE CONDITION OF FOREST CHERNOZEMS IN HLYBOKY RAVINE

Abstract. As it is known, the structure of the soil, as well as the qualitative characteristics of its units (size, water resistance, mechanical stability) is largely dependent on the granulometric structure, the availability of sufficient organic matter, vigorous activity of soil microorganisms and mesofauna, development of root systems of plants. The formation of soil structure is a complex physical-chemical process, which results in the adhesion of soil particle-size fractions of humic substances with a corresponding impact of absorbed cations. Therefore, the shape of the structural units can serve as a diagnostic feature that reflects the genetic features and the natural fertility of the soil. Soil structure is a dynamic property and may be changed under the influence of agricultural use and environmental factors. The stability of soils to human impacts depends on their genetic characteristics, factors and soil conditions. In particular, the greatest impact on the structural state of the soil creates a progressive dehumification.

At present the main features of the research focuses on the establishment of a structural condition of chernozems, used in agriculture, while at the same time, structural and aggregate state of chernozems under forest vegetation remains little explored. Accordingly, the aim of our work is to establish the characteristics of the structural condition of forest chernozems that formed in a ravine oak steppe zone of Ukraine.

The object of study is based on the soil of Hlyboky Ravine, which is located near the village Andriyivka (Novomoskovsk district, Dnipropetrovsk region). Soil samples were collected in a 5 test areas: the first test area is located on the steppe virgin soil between the field and marge a northern slope, the second – in the middle third of the northern slope, the third – on the flat areas of the thalweg, the fourth – in the middle third of the slope of southern exposure, the fifth – on virgin steppe between the field and marge slope of southern exposure.

The research was carried out by sieve method in the modification of N. I. Savvinov.

As a result of the investigations it was found that the optimal aggregate state characterized by the surface horizons of the soils, which are dominated by the fraction size of 2–1 and 3–2 mm. The maximum content of agronomically valuable fractions revealed in the horizon H1el southern exposure, in which the structural factor is 30.2 %. The most favorable conditions for the formation of water-resistant structures are typical for the northern and southern exposure of the Ravine. The least favorable conditions for the formation of water-resistant aggregates different northern edge. Minimum variability in terms of structure coefficient among the studied soils characteristic of the soil and the northern edge of northern exposure, and the maximum – for the southern exposure of soil.

 Tel.: +38050-362-45-90, e-mail: vad01@ua.fm

DOI: 10.15421/041606

The most important soil factors which determine the peculiarities of structural-aggregate state of the soils are the eluvial-illuvial processes. Forest chernozems have a very good structural and aggregate state.

Keywords: forest chernozems, soil structure, aggregate state, the content of fractions.

УДК 631.434:581.5

В. А. Горбань
Т. А. Стрыгина
М. В. Мандригеля

канд. биол. наук, доц.

*Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара,
просп. Гагарина, 72, г. Днепропетровск, Украина, 49010,
тел.: +38050-362-45-90, e-mail: vad01@ua.fm*

ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРНО-АГРЕГАТНОГО СОСТАВА ЧЕРНОЗЕМОВ ЛЕСНЫХ БАЙРАКА ГЛУБОКОГО

Аннотация. Как известно, структурно-агрегатный состав почвы является важным диагностическим признаком, который отражает генетические особенности и естественное плодородие почвы. В настоящее время основные исследования посвящены установлению особенностей структурного состояния черноземов, используемых в сельском хозяйстве, в то же время малоисследованным остается агрегатное состояние черноземов под лесной растительностью. Исходя из этого, целью работы являлось установление особенностей структурного состояния черноземов лесных, которые сформировались в условиях байрачных дубрав степной зоны Украины. Объектом исследования послужили почвы байрака Глубокого, который расположен вблизи с. Андреевка (Новомосковский р-н, Днепропетровская обл.).

В результате выполненных исследований было установлено, что наиболее оптимальным агрегатным состоянием характеризуются поверхностные горизонты всех исследованных почв, в которых преобладают фракции размером 2–1 и 3–2 мм. Максимальное содержание агрономически ценных фракций выявлено в горизонте H1e1 южной экспозиции, в котором коэффициент структурности равен 30,2 %. Наиболее благоприятные условия для формирования водостойкой структуры характерны для северной и южной экспозиции байрака. Наименее благоприятными условиями для образования водостойких агрегатов отличается северная опушка. Наиболее важными почвенными факторами, которые определяют особенности формирования структурно-агрегатного состояния исследованных почв, является элювиально-иллювиально процессы. Черноземы лесные отличаются очень хорошим структурно-агрегатным состоянием.

Ключевые слова: черноземы лесные, структура почвы, агрегатное состояние, содержание фракций.

УДК 631.434:581.5

В. А. Горбань
Т. А. Стригіна
М. В. Мандригеля

канд. біол. наук, доц.

*Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара,
просп. Гагаріна, 72, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010,
тел.: +38050-362-45-90, e-mail: vad01@ua.fm*

ОСОБЛИВОСТІ СТРУКТУРНО-АГРЕГАТНОГО СКЛАДУ ЧОРНОЗЕМІВ ЛІСОВИХ БАЙРАКУ ГЛИБОКОГО

Анотація. Як відомо, структурно-агрегатний склад ґрунту є важливою діагностичною ознакою, який відображає генетичні особливості і природну родючість ґрунту. В даний час основні дослідження присвячені встановленню особливостей структурного стану чорноземів, які використовуються в сільському господарстві, в той же час малодослідженим залишається агрегатний стан чорноземів під лісовою рослинністю. Виходячи з цього, метою роботи було встановлення особливостей структурного стану чорноземів лісових, які сформувалися в умовах байрачних дібров степової зони України. Об'єктом дослідження були ґрунти байраку Глибокого, який розташований поблизу с. Андріївка (Новомосковський р-н, Дніпропетровська обл.).

В результаті виконаних досліджень було виявлено, що найбільш оптимальним агрегатним станом характеризуються поверхневі горизонти всіх досліджених ґрунтів, в яких переважають фракції розміром 2–1 і 3–2 мм. Максимальний вміст агрономічно цінних фракцій виявлено в горизонті H1e1 південної експозиції, в якому коефіцієнт структурності дорівнює 30,2 %. Найбільш сприятливі умови для формування водостійкої структури характерні для північної та південної експозиції байраку. Найменш сприятливими умовами для утворення водостійких агрегатів відрізняється північна галявина. Найбільш важливими ґрунтовими факторами, які визначають особливості формування структурно-агрегатного стану досліджених ґрунтів, є елювіально-ілювіально процеси. Чорноземи лісові відрізняються дуже добрим структурно-агрегатним станом.

Ключові слова: чорноземи лісові, структура ґрунту, агрегатний стан, вміст фракцій.

ВСТУП

Як відомо, структурність ґрунту, а також якісні характеристики його агрегатів (розміри, водостійкість, механічна міцність) істотно залежать від гранулометричного складу, достатньої наявності органічної речовини, активної діяльності ґрунтової мезофауни і мікроорганізмів, розвитку кореневих систем рослин. При цьому формування структури ґрунту є складним фізико-хімічним процесом, в результаті якого відбувається склеювання гранулометричних фракцій ґрунту гумусовими речовинами при відповідному впливі поглинутих катіонів (Shein, Milanovskiy, 2014). Тому форма структурних агрегатів може служити діагностичною ознакою, яка відображає генетичні особливості та природну родючість ґрунту (Šimanský, 2015). Структурність ґрунту є динамічною властивістю і може змінюватися під впливом сільськогосподарського використання та природних факторів (Medvedev, 2008). Стійкість ґрунтів до антропогенного впливу залежить від їх генетичних особливостей, факторів та умов ґрунтоутворення. Зокрема, найбільший вплив на структурний стан ґрунтів створює прогресуюча дегуміфікація (Słowińska-Jurkiewicz et al., 2013).

Структура, визначаючи хід основних ґрунтових режимів, фактично формує екологічне середовище з тими чи іншими можливостями для життєдіяльності численних макро-, мезо і мікромешканців ґрунту, з одного боку, а з іншого, ґрунт сам зазнає їхнього впливу, починаючи від утворення продуктів мікробіологічного розкладу корневих залишків до формування вологостійкого макроагрегату (Medvedev, 2009).

На сьогодні основні дослідження присвячені встановленню особливостей структурного складу чорноземів, які використовуються в сільському господарстві (Medvedev, 2008; Khokhlova et al., 2015), в той же час малодослідженим залишається структурно-агрегатний склад чорноземів під лісовою рослинністю. Виходячи з цього, метою нашої роботи є встановлення особливостей структурного складу чорноземів лісових, які сформувалися в умовах байрачних дібров степової зони України.

ОБ'ЄКТИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Структурно-агрегатний склад чорноземів лісових досліджували на прикладі ґрунтів байраку Глибокого, який розташований поблизу с. Андріївка (Новомосковський р-н, Дніпропетровська обл.). Зразки для аналізу відбирали в умовах 5 пробних площ: пробна площа 1 – розташована на степовій цілині між полем та узліссям схилу північної експозиції байраку Глибокого; пробна площа 2 – розташована на середній третині схилу північної експозиції байраку Глибокого; пробна площа 3 – розташована на вирівняній ділянці тальвегу байраку Глибокого; пробна площа 4 – розташована на середній третині схилу південної експозиції байраку Глибокого; пробна площа 5 – розташована на степовій цілині між полем та узліссям схилу південної експозиції байраку Глибокого.

Детальну геоботанічну характеристику пробних площ, а також особливості макро- та мікоморфологічної будови ґрунтових розрізів, що закладені на них,

наведено у роботах Н. А. Білової та А. П. Травлєєва (Belova, Travleyev, 1999), В. М. Яковенка (Yakovenko, 2014).

Визначення структурно-агрегатного складу досліджених ґрунтів виконували ситовим методом у модифікації Н. І. Саввінова (DSTU 4744:2007).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Дослідженнями агрегатного складу чорноземів лісових в умовах північної галявини встановлено, що домінуючими фракціями ґрунтових агрегатів поверхневого горизонту Нк є фракції розміром 2–1 та 3–2 мм, вміст яких становить 19,9 та 19,4 % відповідно (табл. 1). Саме на ці розміри припадає максимальний вміст ґрунтових агрегатів ПП 1, з деяким збільшенням розміру в горизонті Phk та зменшенням – в горизонті Рк. Величина коефіцієнту структурності, який розраховується як співвідношення суми агрономічно цінних агрегатів розміром від 0,25 до 10 мм до суми агрегатів розміром <0,25 та >10 мм (Vadyunina, Korchagina, 1986; Medvedev, 2008), досягає максимального значення 17,7 у горизонті Нк, з глибиною його величина зменшується. Це свідчить, що з глибиною в чорноземах лісових в умовах північної галявини зменшується оптимальність умов для формування агрономічно цінної структури.

Таблиця 1

Особливості агрегатного складу чорноземів лісових байраку Глибокий											
Гене-тичний горизонт	Глибина, см	Вміст фракцій (мм), %									Коефі-цієнт структур-ності
		>10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	<0,25	
ПП 1, північна галявина											
Hk	0-26	2,1	14,7	12,4	12,3	19,4	19,9	11,5	4,5	3,3	17,7
Hpk	26-45	2,9	7,4	14,9	14,9	16,9	20,0	14,0	5,6	3,4	14,8
Phk	46-60	9,9	18,5	15,5	12,9	15,4	13,5	7,8	2,9	3,4	6,5
Pk	60-120	4,0	6,4	8,3	7,0	10,9	16,6	17,3	12,6	16,9	3,8
ПП 2, північна експозиція											
H ₁ el	0-45	4,7	12,0	18,3	18,8	21,0	16,6	6,9	1,4	0,7	17,4
H ₂ el	46-62	11,2	23,2	19,0	15,5	13,7	10,5	5,1	1,2	0,7	7,4
H ₃ il	62-150	9,4	20,6	18,6	11,2	15,6	13,4	7,8	2,3	1,3	8,4
H ₄ il	150-200	29,6	30,2	15,2	6,8	7,4	5,6	3,4	1,0	0,8	2,3
ПП 3, тальвег											
H ₁ el	0-38	4,8	10,4	11,5	12,0	17,1	19,3	14,0	6,0	4,4	9,8
H ₂ el	38-92	15,0	22,3	18,5	12,8	12,8	11,0	5,4	1,1	0,7	5,3
H ₃ il	92-150	31,1	21,0	14,0	8,4	9,5	8,2	4,7	1,5	1,2	2,1
H ₄ il	150-200	49,1	20,7	10,1	4,5	4,9	4,7	3,3	1,2	1,1	1,0
ПП 4, південна експозиція											
H ₁ el	0-40	2,2	4,8	13,1	21,4	25,3	20,3	9,2	2,2	1,0	30,2
H ₂ el	40-75	4,4	11,2	13,9	12,6	19,6	20,8	11,5	3,7	2,0	14,7
H ₃ il	75-170	40,0	18,0	13,2	7,1	8,1	6,9	4,2	1,4	1,0	1,4
H ₄ il	170-220	38,0	22,9	11,1	5,6	6,7	6,9	5,1	1,9	1,4	1,5
ПП 5, південна галявина											
Hk	0-32	8,8	11,7	15,7	14,9	14,5	18,2	6,5	6,1	2,2	8,0
Hpk	32-58	4,0	7,4	9,8	15,9	24,8	22,1	7,7	6,2	3,2	13,0
Phk	58-80	21,0	18,7	15,0	12,6	10,7	9,7	5,8	2,9	3,1	3,1
Pk	80-150	38,1	17,1	13,8	8,2	6,5	6,6	4,0	2,4	2,9	1,4

При дослідженні агрегатного складу чорноземів лісових в умовах північної експозиції встановлено, що в горизонті H₁el максимальний вміст агрегатів припадає

на фракції розміром 3–2, 5–3 та 7–5 мм (21,0, 18,8 та 18,3 % відповідно). В інших горизонтах максимальним вмістом відрізняються ґрунтові агрегати розміром 10–7 мм (табл. 1). Максимальна величина коефіцієнту структурності характерна для горизонту Н₁el і становить 17,4, з глибиною спостерігається зменшення його величини. При цьому в горизонті Н₃il виявлено деяке підвищення величини коефіцієнту структурності, що можна пояснити ілювіальними процесами, які характерні для цього горизонту.

Дослідженнями агрегатного складу чорноземів тальвегу байраку Глибокого виявлено, що в горизонті Н₁el максимальний вміст фракцій припадає на розмір 2–1 та 3–2 мм (19,3 та 17,1 % відповідно). У горизонті Н₂el спостерігається переважання фракції 10–7 мм, а в нижніх ілювіальних горизонтах – фракції >10 мм. Максимальна величина коефіцієнту структурності характерна для верхнього горизонту Н₁el, з глибиною його величина поступово зменшується.

В результаті аналізу агрегатного складу лісових чорноземів байраку Глибокого встановлено, що у верхньому горизонті Н₁el максимальний вміст агрегатів припадає на фракцію 3–2 мм і дорівнює 25,3 %. Горизонт Н₂el відрізняється збільшеними величинами агрегатів фракції 2–1 та 3–2 мм. В нижніх ілювіальних горизонтах спостерігається переважання агрегатів фракції >10 мм. Величина коефіцієнту структурності зменшується з глибиною.

Дослідженнями агрегатного складу чорноземів в умовах північної галявини байраку Глибокого виявлено, що серед фракцій ґрунтових агрегатів горизонту Нк домінує фракція розміром 2–1 мм, вміст якої дорівнює 18,2 % (табл. 1). В горизонті Нрк домінуючими є фракції розміром 3–2 та 2–1 мм. В нижніх горизонтах серед фракцій домінують фракції ґрунтових агрегатів розміром >10 мм. Максимальна величина коефіцієнту структурності пов'язана з горизонтом Нрк, з глибиною його величина зменшується.

Для встановлення особливостей варіювання агрегатного складу досліджених ґрунтів було розраховано коефіцієнти варіації величин коефіцієнту структурності кожної пробної площі. В результаті цього було встановлено, що мінімальна мінливість серед досліджених ґрунтів характерна ґрунтам північної галявини та північної експозиції (коефіцієнти варіації дорівнюють 61,8 та 70,8 % відповідно). Максимальна мінливість характерна для ґрунтів південної експозиції. Ґрунти тальвегу та південної галявини за величиною коефіцієнту варіації займають проміжне значення за величиною коефіцієнту варіації коефіцієнту структурності.

Таким чином, максимально оптимальним агрегатним складом характеризуються поверхневі горизонти усіх досліджених ґрунтів, в яких переважають фракції розміром 2–1 та 3–2 мм, при цьому максимальний вміст цих фракцій виявлено в горизонті Н₁el південної експозиції, в якому коефіцієнт структурності дорівнює 30,2 %.

В результаті дослідження водостійкості агрегатів чорноземів лісових байраку Глибокого в умовах північної експозиції виявлено, що максимальна частка водоміцних агрегатів горизонту Нк припадає на фракцію розміром 2–1 мм (табл. 2). В інших горизонтах серед водостійких агрегатів переважає фракція розміром <0,25 мм. При цьому в горизонті Рк вміст цієї фракції досягає майже 50 %. В цілому з глибиною спостерігається збільшення фракцій водостійких агрегатів меншого розміру.

Аналіз результатів дослідження водостійкості агрегатів ґрунтів північної експозиції виявив, що для горизонтів Н₁el, Н₂el та Н₃il характерним є переважання фракції 1–0,5 мм (табл. 2). У нижньому горизонті спостерігається різке збільшення вмісту фракції розміром <0,25 мм, що можна пояснити зменшенням вмісту гумусу в цьому горизонті, який є важливим фактором утворення водостійкої структури (Degtyarev, 2011).

Серед водостійких фракцій агрегатів чорноземів лісових тальвегу переважають фракції розміром <0,25 мм та 2–1 мм (табл. 2). У горизонті Н₂el максимальним вмістом відрізняється фракція водостійких агрегатів розміром 2–1 мм. Горизонт Н₃il

характеризується збільшеним вмістом водостійких фракцій розміром 1–0,5 мм. У нижньому горизонті спостерігається збільшений вміст водостійкої фракції розміром <0,25 мм.

Таблиця 2

Особливості водостійкості агрегатів чорноземів лісових байраку Глибокий							
Генетичний горизонт	Глибина, см	Вміст фракцій (мм), %					
		5–3	3–2	2–1	1–0,5	0,5–0,25	<0,25
ПП 1, північна галявина							
Hk	0–26	16,4	13,1	21,8	17,4	10,8	20,5
Hpk	26–45	7,1	10,1	16,0	20,8	18,8	27,2
Phk	46–60	2,6	6,2	16,3	22,9	23,3	28,7
Pk	60–120	0,9	1,7	4,3	9,7	35,3	48,2
ПП 2, північна експозиція							
H ₁ el	0–45	4,2	9,2	23,7	27,5	17,3	18,1
H ₂ el	46–62	2,5	5,0	11,9	32,6	26,0	22,0
H ₃ il	62–150	1,1	1,7	12,4	35,9	25,3	23,6
Hpil	150–200	0,0	0,2	0,5	4,2	46,4	48,7
ПП 3, тальвег							
H ₁ el	0–38	3,2	13,3	23,9	17,4	18,0	24,3
H ₂ el	38–92	1,5	6,7	35,3	25,1	13,0	18,4
H ₃ il	92–150	0,1	0,7	8,4	44,9	23,0	23,0
Hpil	150–200	0,0	0,7	12,8	26,4	29,6	30,6
ПП 4, південна експозиція							
H ₁ el	0–40	0,9	7,6	30,6	31,3	11,9	17,7
H ₂ el	40–75	0,8	2,6	22,6	30,7	20,0	23,4
H ₃ il	75–170	0,1	0,3	5,9	54,0	21,1	18,6
Hpil	170–220	0,0	0,2	1,7	28,5	42,6	27,0
ПП 5, південна галявина							
Hk	0–32	40,5	14,6	16,2	10,7	5,4	12,6
Hpk	32–58	6,9	10,3	20,3	24,7	18,1	19,8
Phk	58–80	0,6	3,2	14,3	18,4	33,3	30,2
Pk	80–150	0,6	1,0	4,4	29,3	41,9	22,9

Дослідженнями водостійкості ґрунтових агрегатів в умовах південної експозиції байраку Глибокого виявлено, що в горизонтах H₁el, H₂el та H₃il переважає водостійка фракція розміром 1–0,5 мм (табл. 2). Подібне явище характерне також для ґрунтів північної експозиції. В нижньому горизонті в умовах південної експозиції переважає водостійка фракція агрегатів розміром 0,5–0,25 мм.

Аналіз особливостей водостійкості агрегатів чорноземів лісових байраку Глибокого в умовах південної галявини виявив, що в горизонті Hk серед водостійких агрегатів переважає фракція розміром 2–1 мм (табл. 2). В горизонті Hpk переважають водостійкі агрегати розміром 1–0,5 мм. В нижніх горизонтах найбільша кількість водостійких агрегатів належить до фракції розміром 0,5–0,25 мм.

Таким чином, розглянувши отримані дані щодо водостійкості агрегатів досліджених ґрунтів можна зробити висновок, що найбільш сприятливі умови для формування водостійкої структури характерні для умов північної та південної експозиції. Найменш сприятливими умовами для утворення водостійких агрегатів відрізняється північна галявина. Умови південної галявини та тальвегу займають проміжні значення.

Для встановлення особливостей формування структурно-агрегатного складу чорноземів лісових в умовах байраку Глибокого було розраховано ряд показників, які

допомогли узагальнити результати, отримані при дослідженні агрегатного складу та водостійкості агрегатів досліджуваних ґрунтів (табл. 3).

Таблиця 3

**Порівняльна характеристика структурного складу
чорноземів лісових байраку Глибокий**

Генетичний горизонт	Вміст агрономічно цінних фракцій при сухому просіюванні (сума фракцій 10,0–0,25 мм), %	Вміст агрономічно цінних фракцій при мокрому просіюванні (сума фракцій більше 0,25 мм), %	Вміст агрономічно цінних окремоностей за С. І. Долговим та П. У. Бахтінім (співвідношення даних сухого та мокрого просіювання, за сумою агрегатів розміром 0,25–10,0 мм), %	Критерій АФІ або критерій водомісності (відношення суми агрегатів 1,0–0,25 мм при мокрому та сухому просіюванні), %
ПП 1, північна галявина				
H ₁ el	94,7	79,5	119,1	176,0
H ₂ el	93,7	72,8	128,7	202,6
H ₃ il	86,5	71,3	121,3	430,0
H _p il	79,0	51,8	152,5	150,6
ПП 2, північна експозиція				
H ₁ el	94,8	81,9	115,8	543,3
H ₂ el	88,3	78,0	113,2	924,1
H ₃ il	89,5	76,4	117,1	607,8
H _p il	69,7	51,3	135,9	1158,9
ПП 3, тальвег				
H ₁ el	90,3	75,7	119,3	176,5
H ₂ el	83,8	81,6	102,7	591,4
H ₃ il	67,4	77,0	87,5	1085,8
H _p il	49,6	69,4	71,5	1221,9
ПП 4, південна експозиція				
H ₁ el	96,4	87,4	110,3	376,2
H ₂ el	93,3	80,2	116,3	332,6
H ₃ il	59,0	69,8	84,5	1344,2
H _p il	60,2	77,1	78,1	1024,8
ПП 5, південна галявина				
H _k	87,7	87,4	100,3	127,4
H _p k	94,1	80,2	117,3	306,0
Ph _k	75,3	69,8	107,9	594,6
P _k	58,6	77,1	76,0	1108,9

Порівняння досліджених ґрунтів за величиною агрономічно цінних фракцій при сухому просіюванні виявило, що цей показник поступово зменшується з глибиною, тобто в поверхневих горизонтах за рахунок максимального накопичення гумусу формуються найоптимальніші умови для формування ґрунтових агрегатів. Ілювіальний горизонт H₃il в умовах північної експозиції відрізняється дещо більшими значеннями порівняно з горизонтом H₂el, який знаходиться вище. Це пояснюється особливостями ілювіальних процесів, які характерні для горизонту H₃il. Зменшена величина зазначеного показника в горизонті H_k порівняно з горизонтом H_pk в умовах південної експозиції пояснюється інтенсивним змиванням верхнього горизонту. В цілому досліджені ґрунти відрізняються добрим структурним станом за

шкалою оцінювання, що наведена в роботі (Теорії і методи фізики ґрунту, 2007), окрім деяких нижніх горизонтів, де цей показник є меншим за 60 %.

Порівняння ґрунтів за величиною вмісту агрономічно цінних агрегатів при мокрому просіюванні показало, що для всіх досліджених ґрунтів характерне поступове зменшення цього показника з глибиною. При цьому в умовах тальвегу верхній горизонт Н₁el відрізняється зменшеними величинами даного показника порівняно з глибшими горизонтами. За шкалою оцінювання, що наведена в роботі І. В. Кузнецової (Kuznetsova, 1979), усі поверхневі горизонти характеризуються надлишково високим та відмінним вмістом агрономічно цінних фракцій при мокрому просіюванні.

Порівняння ґрунтів за вмістом агрономічно цінних окремоностей за С. І. Долговим та П. У. Бахтіним виявило, що для ґрунтів північної галявини, північної експозиції та південної галявини характерне збільшення цього показника з глибиною. На противагу цьому, для ґрунтів тальвегу та південної експозиції характерне зменшення цього показника з глибиною. В цілому досліджені ґрунти, зокрема їх верхні горизонти, за цим показником характеризуються як відмінні та добрі згідно шкали оцінювання (Dolgov, Bakhtin, 1966).

Використання критерію Агрофізичного інституту при порівнянні досліджених ґрунтів виявило, що за критерієм водоміцності агрегатний стан чорноземів лісових байраку Глибокого є відмінним, дуже добрим та добрим (Теорії і методи фізики ґрунту, 2007).

Таким чином, чорноземи лісові (Belova, Travleyev, 1999), які сформувалися під природною байрачною рослинністю в умовах степової зони України, відрізняються дуже добрим структурно-агрегатним станом.

ВИСНОВКИ

1. Найбільш оптимальним агрегатним складом характеризуються поверхневі горизонти усіх досліджених ґрунтів, в яких переважають фракції розміром 2–1 та 3–2 мм.
2. Максимальний вміст агрономічно цінних фракцій виявлено в горизонті Н₁el південної експозиції, в якому коефіцієнт структурності дорівнює 30,2 %.
3. Найбільш сприятливі умови для формування водостійкої структури характерні для північної та південної експозиції.
4. Найменш сприятливими умовами для утворення водостійких агрегатів відрізняється північна галявина.
5. Мінімальна мінливість за показником коефіцієнту структурності серед досліджених ґрунтів характерна ґрунтам північної галявини та північної експозиції, а максимальна – для ґрунтів південної експозиції.
6. Найбільш важливими ґрунтовими факторами, які визначають особливості формування структурно-агрегатного складу досліджених ґрунтів, є елювіально-ілювіальні процеси.
7. Чорноземи лісові відрізняються дуже добрим структурно-агрегатним станом.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

- Belova, N. A., Travleyev, A. P., 1999. Estestvennye lesa i stepnye pochvy (ecologiya, mikromorfologiya, genesis), 1999 [Forest and steppe soils (ecology, micromorphology, genesis)]. Dnipropetrovsk (in Russian).
- Degtyarev, V. V., 2011. Humus chernozemiv livoberezhnoho Lisostepu i Stepu Ukrainy [Humus of chernozems of left-bank forest-steppe and steppe of Ukraine]. Majdan, Kharkiv (in Ukrainian).
- Dolgov, S. I., Bakhtin, P. U., 1966. Shkala dlia otsenki gotovnosti pochv k posovu po ee strukturnomu sostoianiyu [The scale for the assessment of the soil ready for planting in its structural state]. Agrofizicheskie metody issledovaniia pochv. Nauka, Moscow, 68 (in Russian).
- DSTU 4744:2007. Yakist gruntuv. Vyznachennia strukturno-agregatnogo skladu syrovym metodom u modyfikatsii N. I. Savvinova, 2005 [Soil quality. Determination of structural-aggregate composition of the sieve method to N. I. Savvinov modify]. Kyiv (in Ukrainian).

- Khokhlova, O. S., Chendev, Yu. G., Myakshina, T. N., Alexandrovskiy, A. L., Khokhlov, A. A., 2015. Evolution of Chernozems in the southern forest-steppe of the Central Russian upland under long-term cultivation examined in the agrosequences. *Quaternary International* 365, 175–189.
- Kuznetsova, I. V., 1979. O nekotorykh kriteriiakh otsenki fizicheskikh svoystv pochv [On some criteria of evaluating physical soil properties]. *Eurasian Soil Science* 3, 81–88 (in Russian).
- Medvedev, V. V., 2008. *Struktura pochvy (metody, genesis, klassifikatsiia, evolyutsia, geografiia, monitoring, okhrana)* [Soil structure (methods, genesis, classification, evolution, geography, monitoring, protection)]. Kharkov, 13 tipografiia (in Russian).
- Medvedev, V. V., 2009. *Struktura gruntu iak ekolohichniy chynnyk* [Soil structure as ecological factor]. *Visnyk KhNAU* 3, 25–31 (in Ukrainian).
- Shein, E., Milanovskiy, E., 2014. Soil Structure Formation: Role of the Soil Amphiphilic Organic Matter. *Biogeosystem Technique* 2(2), 182–190.
- Šimanský, V., 2015. Dynamics of soil structure parameters in loamy soils of Slovakia. *Soil Forming Factors and Processes from the Temperate Zone* 14, 1–8.
- Śłowińska-Jurkiewicz, A., Bryk, M., Medvedev, V. V., 2013. Long-term organic fertilization effect on chernozem structure. *International Agrophysics* 27, 81–87.
- Teorii i metody fiziki pochv, 2007 [Theories and techniques of soil physics]. Ed. E. V. Shein, L. O. Karpachevskij. Moscow (in Russian).
- Vadyunina, A. F., Korchagina, Z. A., 1986. *Metody issledovaniia fizicheskikh svoystv pochvy* [Methods of study of the physical properties of soil]. Moscow (in Russian).
- Yakovenko, V. M., 2014. Vplyv delyuvialnykh protsesiv na macro- ta mikromorfologiyu bairachnykh lisovykh gruntiv [The influence of deluvial processes on macro- and micromorphology of ravined forest soil]. *Gruntoznavstvo* 15(3–4), 74–88 (in Ukrainian).

Стаття надійшла в редакцію: 31.05.2016

SOIL CHEMISTRY



N. N. Miroshnychenko Dr. Sci. (Biol.)
O. A. Kutz

UDK 631.416.9

*National Scientific Centre «O. N. Sokolovsky Institute
for Soil Science and Agrochemistry Research»,
Chajkovska str., 4, Kharkov, Ukraine, 61024*

SELECTIVE ABSORPTION OF HEAVY METALS BY SOIL AND HUMIC ACIDS AT DIFFERENT pH LEVELS

Abstract. Studying processes of sorption-desorption of heavy metals from soil and its individual components allow to predict long-term effects under conditions of multielement contamination. Cations of heavy metals are showing competitive relationship due to their specific adsorption by components of the soil absorption complex, in particular humic acids. Interaction of chernozem podzolized heavy loam, isolated preparation of humic acids and soil residue after its removal with the solution which contain sulphates of Zn, Cd, Ni, Co and Cu in equal ratio were simulated at different pH levels. The task of research was to compare selective absorption of some heavy metals in soil and humic acids at pH values from 3 to 9. The experiment was performed by mixing 10 g of soil material or 0.1 g of humic acid with 100 ml of buffer solution, adding 10 ml 0.01 n equal mixture of Cd, Zn, Ni, Co, Cu and 2-hour exposure. Humic acids were extracted from this soil by 0.1 n NaOH after decalcification using 0.05 n H₂SO₄. Crystalline Copper sulphate, Zinc, Nickel, Cobalt, Cadmium were used to prepare the solution level of heavy metals. Ammonium acetate-buffer solutions with different pH (3.0, 5.0, 7.0, 9.0) were obtained by varying the ratio CH₃COOH and NH₄OH.

The experiment showed that competitive relationship between heavy metal in soil and humic acids. Copper has the highest specificity adsorption, Cobalt – the smallest. Under acidic and strongly acidic reaction content of Zn, Cd, Ni in equilibrium solution is close enough. The absorption of copper was increased by 50 % from strongly acidic to neutral reaction. Under alkaline conditions Cobalt and Copper were practically absent in the solution.

Has been found that the absorption of heavy metals by soil decreases in sequence: Cu, Zn > Cd, Ni > Co. The selectivity of the absorption of heavy metals by humic acids was less marked, but the ability to sorption has the similar sequence: Cu > Zn > Ni > Cd > Co. The residue of soil after removal of humic acids has a high affinity for copper ions, which was absorbed twice from each other metals.

Has been proved experimentally that selective adsorption of heavy metals in soil significantly depends on the pH, decreasing under acidic and strongly acidic conditions where hydrogen is successfully competing with them for exchange places in soil absorption complex.

Deviation from the equivalent absorption (20 %) of each heavy metal in soil accounted for 15.0–26.0 % in acidic pH and 1.6–45.4 % in alkaline pH. After the interaction of heavy metals with humic acids in the most acidic medium fluctuations content elements in the equilibrium solution was 15.7–25.3 %, while the highest pH 11.0–26.7 %. Overall, the decrease of sorption capacity for humic acids elements can be placed in the following order: Cu > Zn > Ni > Cd > Co. This sequence is saved by a narrow ratio solution: adsorbent.

Tel.: +38057-704-16-64, e-mail: ecosoil@meta.ua

DOI: 10.15421/041607

Thus, under condition of polyelement contamination migration of Cobalt in soil may be more intensive than Zink, Cadmium, Nickel and a lot more than Copper, especially in alkaline pH.

Key words: soil, humic acids, heavy metals, absorption, pH.

УДК 631.416.9

Н. Н. Мирошниченко д-р биол. наук
Е. А. Куц

*Національний научний центр «Інститут почвоєднання і агрохімії
ім. А. Н. Соколовського», ул. Чайковська, 4, г. Харків, Україна, 61024,
тел.: +38057-704-16-64, e-mail: ecosoil@meta.ua*

СЕЛЕКТИВНОСТЬ ПОГЛОЩЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ ПОЧВОЙ И ГУМИНОВЫМИ КИСЛОТАМИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЯХ pH

Аннотация. В условиях полиэлементного загрязнения почвы катионы тяжелых металлов проявляют конкурентные взаимоотношения вследствие их специфической адсорбции отдельными составляющими почвенного поглощающего комплекса, в частности, гуминовыми кислотами. При разных уровнях pH было смоделировано взаимодействие чернозема оподзоленного тяжелосуглинистого, выделенного препарата гуминовых кислот и остатка почвы после его удаления с раствором, содержащим сульфаты Zn, Cd, Ni, Co и Cu в равноэквивалентном соотношении. Установлено, что сорбция отдельных элементов почвой уменьшается в последовательности: Cu, Zn > Cd, Ni > Co. Селективность поглощения тяжелых металлов гуминовыми кислотами выражена меньше, но способность к сорбции имеет схожую последовательность: Cu > Zn > Ni > Cd > Co. Остаток почвы после удаления гуминовых кислот имеет высокое сродство с ионами меди, которой поглощается вдвое больше каждого из других металлов. Экспериментально доказано, что селективная сорбция тяжелых металлов в почве существенно зависит от pH, уменьшаясь в кислой и сильнокислой среде, где водород успешно конкурирует с ними за обменные места в почвенном поглощающем комплексе.

Ключевые слова: почва, гуминовые кислоты, тяжелые металлы, сорбция, pH.

УДК 631.416.9

М. М. Мірошниченко д-р біол. наук
О. А. Куц

*Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії
ім. О. Н. Соколовського», вул. Чайковська, 4, м. Харків, Україна, 61024,
тел.: +38057-704-16-64, e-mail: ecosoil@meta.ua*

СЕЛЕКТИВНІСТЬ ПОГЛИНАННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ҐРУНТОМ ТА ГУМІНОВИМИ КИСЛОТАМИ ЗА РІЗНИХ РІВНІВ pH

Анотація. В умовах поліелементного забруднення ґрунту катіони важких металів проявляють конкурентні взаємовідносини унаслідок їхньої специфічної адсорбції окремими складовими ґрунтового поглинального комплексу, зокрема, гуміновими кислотами. За різних рівнів pH було змодельовано взаємодію чорнозему опідзоленого важкосуглинкового, виділеного препарату гумінових кислот та залишку ґрунту після його видалення із розчином, що містить сульфати Zn, Cd, Ni, Co і Cu у рівно еквівалентному співвідношенні. Встановлено, що сорбція окремих елементів ґрунтом зменшується у послідовності: Cu, Zn > Cd, Ni > Co. Селективність поглинання важких металів гуміновими кислотами виражена менше, але здатність до сорбції має схожу послідовність: Cu > Zn > Ni > Cd > Co. Залишок ґрунту після видалення гумінових кислот має високу спорідненість до іонів міді, якої поглинається вдвічі більше за кожний з інших металів. Експериментально доведено, що селективна сорбція важких металів у ґрунті істотно залежить від pH, зменшуючись у кислому та сильно кислому середовищі, де гідроген успішно конкурує з ними за обмінні місця у ґрунтовому поглинальному комплексі.

Ключові слова: ґрунт, гумінові кислоти, важкі метали, сорбція, pH.

ВСТУП

Органічна речовина ґрунту та безпосередньо гумінові кислоти (ГК) є визначальною складовою у забезпеченні більшості екологічних функцій ґрунтів (Teut, 1991), у тому числі їхньої здатності акумулювати та депонувати шкідливі для живих компонентів екосистем токсичні речовини (Dergacheva, 2012), регулювати кругообіг хімічних елементів у ландшафтах та процеси водної міграції (Dobrovolskiy, 2006), мобілізації важкодоступних та розсіяних елементів для живлення рослин (Fokin, 1996) тощо. У зв'язку з цим поглиблені дослідження процесів сорбції-десорбції важких металів з ґрунту та ГК дозволяють завчасно прогнозувати віддалені наслідки забруднення земель важкими металами, або, навпаки, їх виснаження на есенціальні мікроелементи.

Як відомо, техногенне забруднення у переважній більшості випадків має поліелементний характер. Через це оцінка небезпеки та прогноз наслідків такого забруднення має враховувати чимало чинників, що пов'язані як із хімічною формою елементів у складі забруднюючої речовини, так і буферні властивості ґрунтів (Pin, 1985). На жаль, через змінність взаємодії ґрунту та полікомпонентної суміші важких металів, змодельовати та надійно спрогнозувати ці процеси важко, тому дослідження спрямовуються на вивчення ролі окремих складових ґрунту, серед яких одне з визначальних місць належить гумусовим речовинам (Minkina, 2009).

Загалом, сорбція важких металів гумусовими речовинами ґрунту є високо специфічною та залежить від карбоксильних та фенольних груп, що залучаються до метал-гумусових комплексів (Angehrn-Bettinazzi, 1989). За низьких рН (менше 6) гумусові речовини збільшують поглинання міді оксидами Fe та Al за рахунок утворення нових адсорбційних центрів, а за високих значень – зменшують через утворення аквакомплексів, що не сорбуються (Tipping, 1983). Комплекси із Pb та Cu більш стабільні, ніж із Cd та Zn (Gao, 1999). Останні мають тенденцію пов'язуватися із більш низькомолекулярними органічними сполуками, унаслідок чого є більш міграційно небезпечними (Bogůvka, 2008). Різна здатність окремих металів до специфічної адсорбції призводить до їхніх конкурентних відносин, які посилюються за зростання рівня забруднення (Ladonin, 2000). Зокрема, мідь та свинець, маючи найбільшу спорідненість до реакційних центрів, перш за все, гумусових речовин, успішно конкурують з цинком та кадмієм, що веде до зменшенню сорбції останніх (Ladonin, 2003; Ponizovskiy, 1999). З іншого боку, видалення органічної речовини з ґрунту призводить до зменшення коефіцієнтів селективності обміну, яке може складати від 3 до 300 разів для Zn та Co (Anisimov, 2011).

Слід зазначити, що залежно від різких змін рН, що відбуваються під дією добрив, меліорантів, поливних вод або різноманітних полутантів, окремі функціональні групи периферичної частини ГК можуть знаходитися як в іонізованій, так і в молекулярній формі. У випадку зрушення рН змінам підлягають не тільки окремі складові компоненти ГК, а всі групи сполук та функціональні групи, що входять до їх складу. Тобто, за одних умов молекули ГК здатні до захвату іонів хімічних елементів, а за інших – до утворення розчинних компонентів (Korolev, 2012). Оскільки відомо, що характер взаємодії гумінових кислот з металами та міцність зв'язку залежить від рН (Ladonin, 1997), метою даної роботи було вивчення адсорбції важких металів ґрунтом та гуміновими кислотами із рівноеквівалентного розчину за різних кислотно-основних умов. Задачею досліджень було порівняння селективності поглинання окремих важких металів ґрунтом та притаманними йому гуміновими кислотами за зміни рН у широкому інтервалі значень.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Як об'єкт було використано зразки орного шару чорнозему опідзоленого важкосуглинкового з такими вихідними характеристиками: рН водний – 5,7, рН сольовий –

5,2, загальний гумус за І. В. Тюриним – 4,1 %. Сутність експерименту полягала у спостереженні за зміною співвідношення ВМ у рівноважному розчині після його взаємодії з ґрунтом та виділенням з нього препаратом гумінових кислот за різного рН.

Гумінові кислоти з цього ґрунту виділяли методом екстракції 0,1 н NaOH після проведення багаторазової декальцинації за допомогою 0,05 н H_2SO_4 . Виділення проводили до візуально слабкого забарвлення екстракту. Препарат гумінових кислот отримували шляхом осадження отриманого золю концентрованою сірчаною кислотою H_2SO_4 з подальшим промиванням дистильованою водою, висушуванням за 60 °С до постійної ваги та розтиранням у агатовій ступці.

Для приготування рівноеквівалентного розчину важких металів використовували кристалогідрати сульфатів міді, цинку, нікелю, кобальту, кадмію. Ацетатно-амонійні буферні розчини з різним рН (3,0, 5,0, 7,0, 9,0) було отримано шляхом різного співвідношення CH_3COOH та NH_4OH .

Експеримент передбачав змішування 10 г ґрунту або 0,1 г препарату ГК із 100 мл буферного розчину, додавання 10 мл 0,01 н рівноеквівалентної суміші ВМ, перемішування та 2-годинну експозицію. Надалі у фільтраті з отриманої суспензії визначали вміст ВМ за методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії з іонізацією у полум'ї ацетилен-повітря, визначення рН проводили іонометрично. Експеримент проводили у триразовій повторності.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Взаємодія буферного розчину із сульфатами важких металів привносить певні умовності в експеримент, оскільки при цьому відбувається зрушення рН від розрахункового значення за рахунок гідрогену, що активно вивільняється гідролітично кислими солями (утвореними слабкими основами $Me(OH)_2$ та сильною кислотою H_2SO_4). У кислому середовищі це зміщує рівновагу у лужний бік: з 3,0 до 3,95, з 5,0 до 5,76, у нейтральному та лужному – у кислий бік: з 7,0 до 6,4, з 9,0 до 7,0. Для того, щоб запобігти такому звуженню інтервалу рН, на першому етапі готували суспензію ґрунту з буферним розчином, яка за обраного співвідношення ґрунт:розчин = 1:10 зберігала кислотно-основну рівновагу на заданих рівнях з коливаннями $\pm 0,1$ одиниць рН.

При взаємодії розчину рівноеквівалентної суміші ВМ із суспензією ґрунту змінюються умови рівноваги між іонами H^+ і Me^{2+} у рідкій та твердій фазі та, відповідно, змінюється рН. Специфічність цих змін у тому, що порівняно з вихідною суспензією рН підвищується в кислому середовищі та знижується у лужному (табл. 1). Це означає, що гідроген у кислому середовищі успішно конкурує з катіонами важких металів за обмінні місця у ГПК. За нейтральних та лужних умов, навпаки, превалює вивільнення у розчин H^+ -іонів під час обміну на іони важких металів (Ladonin, 1997, 2000). Через ці обставини поглинання важких металів ґрунтом є не бінарним, а трикатіонним обміном (Ponizovskiy, 2001).

Таблиця 1

Концентрація важких металів та зміна рН після взаємодії 10 ммоль/л їхньої рівноеквівалентної суміші із 10 г ґрунту

вихідний	рН	Концентрація важких металів у рівноважному розчині, ммоль/л				
	рівноважний	Zn	Cd	Ni	Co	Cu
3	4,1	$0,92 \pm 0,01$	$1,26 \pm 0,01$	$1,04 \pm 0,01$	$1,22 \pm 0,09$	$1,56 \pm 0,01$
5	6,0	$0,92 \pm 0,03$	$1,26 \pm 0,06$	$1,04 \pm 0,02$	$1,31 \pm 0,12$	$1,15 \pm 0,08$
7	6,6	$0,87 \pm 0,02$	$1,05 \pm 0,02$	$0,99 \pm 0,02$	$1,36 \pm 0,05$	$0,92 \pm 0,10$
9	7,1	$0,15 \pm 0,01$	$0,57 \pm 0,03$	$0,61 \pm 0,04$	$1,13 \pm 0,09$	$0,04 \pm 0,01$
HIP ₀₅		0,09	0,14	0,12	0,41	0,33

Фільтрат рівноважного розчину містить як вільні іони металів, так і їхні сполуки з розчинними фракціями органічних речовин. За кислого та сильно кислого

середовища вміст Zn, Cd, Ni у рівноважному розчині достатньо близький, а суттєві зміни відбуваються тільки за рН 9, коли спостерігається різке зниження їхнього вмісту. Ще більші зміни поглинання притаманні міді, поглинання якої на 50 % збільшується при переході від сильно кислого до нейтрального середовища, а в лужному середовищі майже вся мідь зв'язується сорбційно або хімічно. На зміну концентрації Co різні значення реакції середовища не вплинули.

Унаслідок специфіки гумінових кислот, різноманітні індивідуальні складові яких містять чимало кислотних радикалів і також особливостей процедури отримання їх препарату (осадження сірчаною кислотою відбувається за рН 2–3). З цієї причини рН рівноважного розчину був більш низьким за усіх змодельованих рівнів. Підвищення рН відбувалося лише за рН вихідного розчину 3,0, а за інших рівнів кислотності після взаємодії препарату ГК з важкими металами гідроген додатково витискується до розчину (табл. 2).

Таблиця 2

Концентрація важких металів та зміна рН після взаємодії 10 ммоль/л їхньої рівноеквівалентної суміші із 0,1 г препарату гумінових кислот

вихідний	рН	Концентрація важких металів у рівноважному розчині, ммоль/л				
	рівноважний	Zn	Cd	Ni	Co	Cu
3	3,7	1,38 ± 0,05	2,05 ± 0,04	1,71 ± 0,09	2,23 ± 0,05	1,43 ± 0,11
5	4,6	1,43 ± 0,04	1,90 ± 0,04	1,81 ± 0,08	2,31 ± 0,10	0,91 ± 0,01
7	5,2	1,25 ± 0,04	1,63 ± 0,12	1,49 ± 0,08	1,99 ± 0,11	0,82 ± 0,07
9	5,9	1,33 ± 0,02	1,90 ± 0,04	1,64 ± 0,01	2,08 ± 0,02	0,86 ± 0,04
HIP ₀₅		0,2	0,39	0,4	0,45	0,32

З отриманих результатів видно, що після сорбції важких металів їхня концентрація у фільтраті зменшується у такій послідовності: за вихідного рН 3 – Co > Cd > Ni > Cu, Zn, а за рН 5–9 – Co > Cd > Ni > Zn > Cu. Для Zn, Ni та Co мінімум поглинання ГК відбувається за рН 5, для Cu та Cd – за рН 3. За рН розчину 7 спостерігається максимальне поглинання всіх елементів, а за рН 9 – кількість їх знову зменшується.

Відомо, що характер взаємодії ГК з металами та міцність зв'язку залежать від реакції середовища, причому ця залежність непрямої, що обумовлено наявністю в молекулі ГК функціональних груп з різними константами іонізації. Зі збільшенням рН і включенням до процесу комплексоутворення функціональних груп зі зниженими кислотними властивостями стійкість утворення комплексів зростає. Зміна складу і стійкості комплексів важких металів з ГК під час збільшення рН відбувається за рахунок послідовного заміщення протонів фенольних груп ГК і утворенням гідроксокомплексів (Ladonin, 1997).

Також слід врахувати конкурентну взаємодію іонів металів за реакційні центри під час сумісної присутності у рівноеквівалентній суміші, оскільки це призводить до їх перерозподілу між різними реакційними центрами. Виходячи з табл. 2, видно, що міді гуміновими кислотами поглинається більше за усіх рівнів рН, перешкоджаючи поглинанню інших іонів металів (Ladonin, 1997, 2000).

Враховуючи звуження діапазону рН рівноважного розчину після взаємодії препарату ГК із рівноеквівалентною сумішшю важких металів, було повторено цю частину експерименту, використовуючи більшу наважку (1 г) та буферні розчини з рН від 5 до 11. В результаті збільшення наважки після взаємодії до рівноважного розчину витискувалося більше гідрогену, а за використання буферного розчину з рН 11 вдалося отримати достатньо сталу лужну реакцію розчину (табл. 3).

Наведені дані підтверджують, що співвідношення концентрації окремих елементів у рівноважному розчині Co > Cd > Ni > Zn > Cu є сталою ознакою специфіки їх поглинання гуміновими кислотами у кислому середовищі. Відбулося

також аналогічне зменшення поглинання міді за вихідного рН 9 (рівноважне значення 5,3). Поряд з цим, за лужних умов кобальт та мідь практично відсутні у розчині. Очевидно, що це є наслідком не 100 %-вого поглинання, а хімічного осадження гідроксидів. Як відомо, рН повного осадження $\text{Cu}(\text{OH})_2$ становить 7,1, $\text{Zn}(\text{OH})_2$ – 8,0, $\text{Co}(\text{OH})_2$ – 9,2, $\text{Ni}(\text{OH})_2$ – 9,5, $\text{Cd}(\text{OH})_2$ – 9,7. З цих позицій зрозуміла відсутність у розчині міді, кобальту та нікелю, а наявність цинку та кадмію може бути пов'язана із утворенням стійких комплексних сполук цих елементів.

Таблиця 3

Концентрація важких металів та зміна рН після взаємодії 10 ммоль/л їхньої рівноеквівалентної суміші із 1 г препарату гумінових кислот						
вихідний	рН рівноважний	Концентрація важких металів у рівноважному розчині, ммоль/л				
		Zn	Cd	Ni	Co	Cu
5	4,2	$1,38 \pm 0,15$	$1,78 \pm 0,01$	$1,53 \pm 0,01$	$1,86 \pm 0,35$	$1,10 \pm 0,09$
7	4,9	$1,38 \pm 0,14$	$1,78 \pm 0,01$	$1,63 \pm 0,30$	$2,00 \pm 0,17$	$1,26 \pm 0,16$
9	5,3	$1,22 \pm 0,15$	$1,53 \pm 0,06$	$1,53 \pm 0,39$	$1,75 \pm 0,25$	$0,52 \pm 0,05$
11	9,8	$0,25 \pm 0,01$	$0,30 \pm 0,01$	0	0	0
HIP ₀₅		0,51	0,10	0,80	0,77	0,36

На відміну від ґрунту та гумінових кислот, концентрація окремих елементів у рівноважному розчині після взаємодії із залишком ґрунтового матеріалу зменшувалася в цілому за іншою послідовністю: $\text{Cd} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Co} > \text{Cu}$, причому у лужному середовищі за рН 8,5–9 відбувалося різке збільшення присутності вільного кадмію, міді та цинку, а за рН 10,4–11 – переважно кадмію (табл. 4).

Таблиця 4

Концентрація важких металів та зміна рН після взаємодії 10 ммоль/л їхньої рівноеквівалентної суміші із 1 г залишку ґрунту після видалення гумінових кислот						
вихідний	рН рівноважний	Концентрація важких металів у рівноважному розчині, ммоль/л				
		Zn	Cd	Ni	Co	Cu
5	4,6	$1,60 \pm 0,08$	$1,76 \pm 0,11$	$1,36 \pm 0,17$	$1,52 \pm 0,17$	$0,78 \pm 0,16$
7	5,8	$1,60 \pm 0,05$	$1,64 \pm 0,05$	$1,60 \pm 0,62$	$1,58 \pm 0,40$	$0,68 \pm 0,05$
9	8,5	$2,14 \pm 0,26$	$4,30 \pm 1,46$	$1,70 \pm 0,10$	$1,19 \pm 0,17$	$1,16 \pm 0,50$
11	10,4	$0,86 \pm 0,41$	$4,20 \pm 0,94$	$0,79 \pm 0,01$	0	0
HIP ₀₅		0,97	3,4	1,16	0,75	0,84

Проведений експеримент дозволяє оцінити конкурентні взаємовідносини важких металів щодо їхнього поглинання ґрунтом в цілому та органічною речовиною у формі гумінових кислот, зокрема. Для зручності абсолютні значення виразили у вигляді частки від сумарної іонної сили розчину після поглинання ґрунтом та ГК елементів з рівноеквівалентної суміші. Найбільша частка відповідає слабкій конкурентній здатності елементу, та, відповідно, посиленню його міграційної здатності у випадку поліелементного забруднення.

З рис. 1 видно, що за кислої реакції середовища частка Zn, що залишається у рівноважному розчині, є мінімальною, а частка міді – навпаки, найбільшою. Загалом же, конкуренція поглинання окремих елементів є невеликою, оскільки частка кожного з них у розчині складає в межах 15–26 %. У нейтральному та лужному середовищі сорбція ґрунтом елементів відрізняється набагато більше, зменшуючись у такій послідовності: $\text{Cu}, \text{Zn} > \text{Cd}, \text{Ni} > \text{Co}$. Відносно високе поглинання Cu ґрунтом при рН 9 може бути зв'язане не тільки зі взаємодією елементу з ґрунтовими компонентами (органічними та мінеральними комплекси), а з утворенням нерозчинного осаду $\text{Cu}(\text{OH})_2$, котрий під час фільтрування залишився на фільтрі. Є. І. Караванова вказує, що у складі органічних комплексів метали залишаються в рідкій фазі ґрунту,

тоді як неорганічні іонні форми утворюють малорозчинні сполуки та випадають в осад. Так, у водному розчині, що містить іони міді, осад $\text{Cu}(\text{OH})_2$ випадає при значення рН 5,4–5,6, а в ґрунтовому розчині, де присутні органічні речовини, – при значення рН біля 10 (Karavanova, 2004).

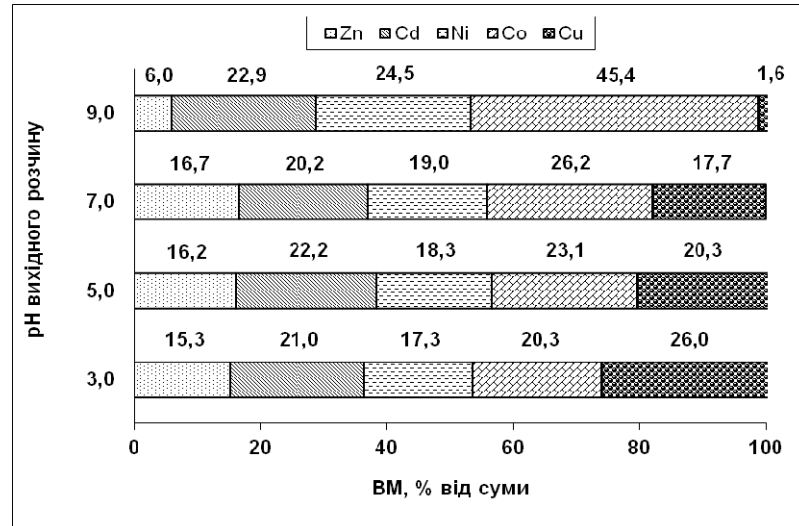


Рис. 1. Частка важких металів у рівноважному розчині після взаємодії їхньої рівноеквівалентної суміші з ґрунтом

Як показує проведений експеримент, селективність поглинання важких металів гуміновими кислотами виражена менше. Зокрема, після взаємодії рівноеквівалентного розчину із 0,1 г препарату ГК у найбільш кислому середовищі коливання вмісту елементів у рівноважному розчині складали 15,7–25,3 %, а за найвищого рівня рН 11,0–26,7 % (рис. 2).

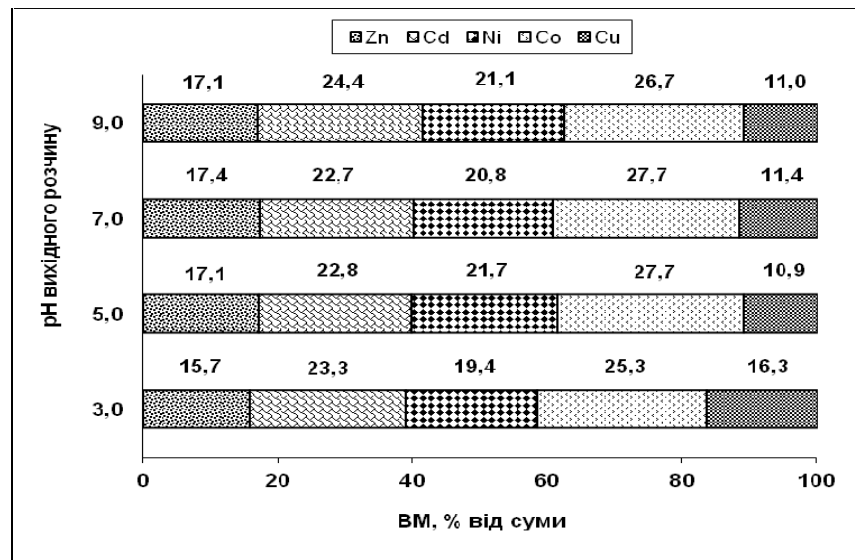


Рис. 2. Частка важких металів у рівноважному розчині після взаємодії їхньої рівноеквівалентної суміші з препаратом ГК

Загалом, за зменшенням здатності до сорбції гуміновими кислотами елементи можна розташувати у такій послідовності: $\text{Cu} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Cd} > \text{Co}$. За більш вузького співвідношення розчин : адсорбент (взаємодія з 1 г препарату ГК) ця послідовність зберігається.

Таким чином, експеримент однозначно засвідчив істотний внесок конкурентних взаємовідносин катіонів важких металів щодо їхньої адсорбції ґрунтом, що слід враховувати за поліелементного забруднення, особливо в умовах нейтрального та лужного середовища. За рахунок цього міграційна небезпека кобальту збільшується, а міді – зменшується. Отримані результати не дають підстав стверджувати, що селективність поглинання пов'язана лише із гуміновими кислотами, оскільки це явище зберігається й після їх видалення.

ВИСНОВКИ

1. Селективна сорбція важких металів у ґрунті залежить від реакції середовища. Конкуренція елементів за сорбційні місця у найменшій мірі проявляється за pH 3–5. З підвищенням pH сорбція ґрунтом окремих елементів відрізняється більш чітко, зменшуючись у такій послідовності: $\text{Cu}, \text{Zn} > \text{Cd}, \text{Ni} > \text{Co}$.

2. Селективність поглинання важких металів гуміновими кислотами виражена менше, але здатність до сорбції має схожу послідовність: $\text{Cu} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Cd} > \text{Co}$. Залишок ґрунту після видалення гумінових кислот зберігає високу спорідненість до іонів міді, поглинання якої відбувається вдвічі більше, ніж Zn, Ni, Cd та Co.

3. Прогнозується, що за умов поліелементного забруднення міграція кобальту в ґрунті може бути більш інтенсивною, ніж цинку, кадмію, нікелю, та набагато більшою, ніж міді, особливо у лужному середовищі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

- Anghern-Bettinazzi, C., Thoni, L., Hertz, J., 1989. An attempt to evaluate some factors affecting the heavy metal accumulation in a forest stand, *International Journal of Environment Analytic Chemistry*, 35, 69–79.
- Anisimov, V. S., Kochetkov, I. V., Kruglov, S. V., Aleksahin, R. M., 2011. Vliyanie organicheskogo veshchestva na parametryi selektivnoy sorbtzii kobalta i tsinka pochvami i vyideleniyi iz nih ilistyimi fraktsiyami [Influence of organic matter on parameters of selective absorption of cobalt and zinc in soils and isolated from their clay fractions]. *Eurasian Soil Science* 6, 675–684 (in Russian).
- Borůvka, L., Drábek, O., 2008. Heavy metal distribution between fractions of humic substances in heavily polluted soils. *Plant, Soil and Environment* 50(8), 339–245.
- Dergacheva, M. I., Nekrasova, O. A., 2012. Nasyishennost mikroelementami guminyih kislot pochv raznogo vozrasta i usloviy formirovaniya [Saturation of humic acids from soils of different ages and conditions of formation by trace elements]. *Heavy metals and Radionuclides in Environment. Materials of the VII International scientific-practical conference. Semipalatinsk* 1, 110–115 (in Russian).
- Dobrovolskiy, V. V., 2006. Guminovyye kisloty i vodnaya migratsiya tyazhelyih metallov [Humic acid and water migration of heavy metals]. *Eurasian Soil Science* 11, 1315–1321 (in Russian).
- Fokin, A. D., Karpuhin, A. I., Radzhabova, P. A., 1996. Mikrobiologicheskaya destrukttsiya organicheskogo veshchestva kak faktor mobilizatsii trudnorastvorimyyih mineralnyih soedineniy [Microbial degradation of organic matter as a factor in the mobilization of sparingly soluble mineral compounds]. *Izvestia of Timiryazev Agricultural Academy* 3, 97–104 (in Russian).
- Gao, K. Z., Pearce, J., Jones, J., Taylor, C., 1999. Interaction between peat, humic acid and aqueous metal ions. *Environmental Geochemistry and Health* 21, 13–26.
- Ilin, V. B., 1985. Tyazhelyie metallyi v sisteme pochva-rastenie [Heavy metals in the soil-plant system]. *Nauka, Novosibirsk* (in Russian).
- Karavanova, E. I., Shapiro, A. D., 2004. Vliyanie vodorastvorimogo organicheskogo veshchestva na pogloschenie tsinka dervno-podzolistoy pochvoy [The effect of water-soluble organic substances on the absorption of zinc in sod-podzolic soil]. *Eurasian Soil Science* 3, 301–305 (in Russian).

- Korolev, A. N., 2012. Osobennosti sorptsii Pb, Cd, Zn guminovymi kislotami kashtanovyih pochv [Peculiarities of sorption of Pb, Cd, Zn in humic acids of chestnut soils]. Heavy metals and Radionuclides in Environment. Materials of the VII International scientific-practical conference. Semipalatinsk 1, 176–186 (in Russian).
- Ladonin, D. V., 1997. Vzaimodeystviya guminyih kislot s tyazhelyimi metallami [The interaction of humic acids with heavy metals]. Eurasian Soil Science 7, 806–811 (in Russian).
- Ladonin, D. V., 2000. Konkurentnyie vzaimootnosheniya ionov pri zagryaznenii pochvy tyazhelyimi metallami [Competitive relationships of ions in soil under heavy metals contamination]. Eurasian Soil Science 10, 1285–1293 (in Russian).
- Ladonin, D. V., Plyaskina, O. V., 2003. Fraktsionnyiy sostav soedineniy medi, tsinka, kadmiya i svintsa v nekotoryih tipah pochv pri polielementnom zagryaznenii [Fractional composition of copper, zinc, cadmium and lead compounds in certain types of soil under polyelement contamination]. Bulletin of Moscow University 1, 8–16 (in Russian).
- Minkina, T. M., Motuzova, G. V., Nazarenko, O. G., 2009. Sostav soedineniy tyazhelyih metallov v pochvakh [Composition of heavy metal compounds in soils]. Everest, Rostov-na-Donu (in Russian).
- Ponizovskiy, A. A., Mironenko, E. V., Kondakova, L. P., 2001. Zakonomernosti pogloscheniya svintsa (II) pochvami pri rN ot 4 do 6 [Regularities of the absorption of lead (II) in soils with a pH of from 4 to 6]. Eurasian Soil Science 7, 817–822 (in Russian).
- Ponizovskiy, A. A., Studenkina, T. A., Mironenko, E. V., 1999. Pogloschenie ionov medi (II) pochvoy i vliyanie na nego organicheskikh komponentov pochvennyih rastvorov [The absorption of copper ions (II) in soil and the effect of organic components of soil solutions on it]. Eurasian Soil Science 7, 850–859 (in Russian).
- Teyt, R., 1991. Organicheskoe veshchestvo pochvy [Organic matter of soil]. Mir, Moscow (in Russian).
- Tipping, E., Griggith, J., Hilton, J., 1983. The effect of adsorbed humic substances on the uptake of copper (II) by goet-hite. Chroatica Chemica Acta 5, 613–621.

Стаття надійшла в редакцію: 26.05.2016

LAND RECLAMATION



V. M. Zverkovsky  Dr. Sci. (Biol.), Professor
O. S. Zubkova

UDK 581.5(477.56)

*O. Honchar Dnipropetrovsk National University,
Gagarin ave, 72, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010*

DYNAMICS OF MINE ROCKS AND ARTIFICIAL SOILS AGROCHEMICAL CHARACTERISTICS UNDER THE IMPACT OF LONG-TERM RECLAMATION

Abstract. The agrochemical characteristics of mine rocks and artificial soils of forest recultivation plot № 1 of «Pavlogradska» mine were studied. The quantitative indicators of humus, phosphorus, potassium and nitrogen content of the soil and mine rocks samples were described. Changes of agrochemical characteristics of mine rocks and artificial soils, that occur as a result of long-term reclamation and exert an impact on forests suitability and silvicultural effect, were ascertained.

Variants of artificial soils, created on the experimental forest recultivation plot, have qualitative differences from natural etalon soils, disturbed soils and differences between themselves.

During the creation of various soil constructions in the process of recultivation it is often not taken into account the possible distant consequences that arise in connection with the dynamic features of the climate, topography, lithology, hydrology and other indicators of technogenic landscapes. Due to the functioning of these soil constructions there are significant changes in physical properties and processes, occurring in the remediation root layer, therefore there are a number of issues related to the further evolution of these structures. In this connection a studying of properties and processes in the artificial soils and an analysis of its current state and evolution prognosis become relevant, with a glance of targeted orientation of recultivation layer constructs and characteristics of specific conditions.

The aim of the research is an investigation of agrochemical characteristics of bulk soils and an assessment of its forests suitability on the forest recultivation plot of «Pavlogradska» main, with an area of 3.2 hectares, where different constructions of forest plantations are being tested since 1976 on the different versions of artificial soils.

The novelty of the work lies in that the findings show the dynamics of artificial soils properties under the influence of long-term biological remediation measures.

The humus state of a soil is a complex of morphological traits, common stocks, properties of organic matter and processes of its creation, transformation and migration in the soil profile. This is a fundamental property of soil because it determines the variety of fertility factors. The content of organic matter in mine rocks and artificial soils ranges from $0,15 \pm 0,02$ (sand) to $6,25 \pm 0,08$ % (mine rock). However despite the fact that the amount of organic matter in the mine rocks is high, it is a part of the denatured organic compounds, which are not available for free mineralization.

 Tel.: +38095-330-84-92, e-mail: zverkovsky@yahoo.com

DOI: 10.15421/041608

Nitrogen is a necessary element for plant development and its soil content determines the level of soil fertility. The analysis showed that the amount of nitrogen ranges from very low in mine rocks to heightened in chernozem loams.

The most important biogenic elements also include phosphorus and potassium, which are essential nutrients for plants. Phosphorus and potassium availability is ranging from low in mine rocks to very high in chernozem loams. Also a decrease of potassium and phosphorus content down the soil profile is observed in different artificial soil variants, which correlates with a decrease of plant roots quantity with depth.

The most relevant area of recultivation for steppe zone is forestry, in which environmentally hazardous areas are planted with reclamation forest cultures.

However, it should be taken into account that creation of artificial forests in steppe zone is a measure associated with certain difficulties, particularly on the zonal chernozem soils. Even greater difficulties encountered in anthropogenic degradation of a substrate with a deterioration of its physicochemical and agrochemical properties in industrial use of lands, which should be considered in the forest land reclamation.

Keywords: *recultivation, reclamation, mine rock, artificial soil, agrochemical properties, humus, phosphorus, potassium, nitrogen.*

УДК 581.5(477.56)

В. Н. Зверковський д-р биол. наук, проф.
Е. С. Зубкова

*Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара,
просп. Гагарина, 72, г. Днепропетровск, Украина, 49010,
тел.: +38095-330-84-92, e-mail: zverkovsky@yahoo.com*

ИЗМЕНЕНИЯ АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ШАХТНОЙ ПОРОДЫ И ИСКУССТВЕННЫХ ПОЧВ ПОД ВЛИЯНИЕМ ДЛИТЕЛЬНОЙ РЕКУЛЬТИВАЦИИ

Аннотация. Исследованы агрохимические свойства шахтной породы и искусственных почв участка лесной рекультивации № 1 шахты «Павлоградская»: содержание азота, фосфора, калия и гумуса в отобранных образцах почвы.

Определена динамика агрохимических свойств шахтных пород и искусственных почво-грунтов, влияющая на их лесопригодность и лесорастительный эффект, которые постепенно улучшаются вследствие длительных рекультивационных мероприятий.

Ключевые слова: *рекультивация, шахтная порода, искусственные почво-грунты, агрохимические свойства, гумус, фосфор, калий, азот.*

УДК 581.5(477.56)

В. М. Зверковський д-р біол. наук, проф.
О. С. Зубкова

*¹Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара,
просп. Гагаріна, 72, м. Дніпропетровськ, Україна, 49010,
тел.: +38095-330-84-92, e-mail: zverkovsky@yahoo.com*

ЗМІНИ АГРОХІМІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ШАХТНИХ ПОРІД ТА ШТУЧНИХ ҐРУНТІВ ПІД ВПЛИВОМ ДОВГОТРИВАЛОЇ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ

Анотація. Досліджено агрохімічні властивості шахтних порід і штучних ґрунтів ділянки лісової рекультивції №1 шахти «Павлоградська». Охарактеризовано вміст азоту, фосфору, калію та гумусу в відібраних зразках ґрунту.

Встановлено зміни агрохімічних властивостей шахтних порід і штучних ґрунтів, що впливають на лісопридатність і лісорослинний ефект, які покращуються внаслідок довготривалих рекультиваційних заходів.

Ключові слова: *рекультивация, шахтна порода, штучні ґрунти, агрохімічні властивості, гумус, фосфор, калій, азот.*

ВСТУП

З кожним роком в Україні збільшуються площі земель, не придатних для подальшого господарського використання. Особливо негативні зміни проявляються при виконанні пошукових робіт, видобуванні та переробці корисних копалин, що викликає порушення ґрунтового покриву, гідрологічного режиму з утворенням сформованих біотопів техногенного рельєфу та інші якісні зміни. Проблема стоїть досить гостро, тому заліснення шахтних відвалів набуває виняткової важливості у зв'язку з багатогранною роллю лісів в оптимізації природних процесів (Travleev, 1988; Zverkovsky, 2002; Borysjuk, 2015).

Ґрунти, утворені в техногенних ландшафтах, де за допомогою техніки порушується ґрунтовий покрив, а потім формується інший, називається техноземами (техногенними ґрунтами). Їх профіль представлений не генетичними горизонтами, а ґрунтово-техногенними (Eterevska, 2008).

Гумус – найбільш цінна частина ґрунту, так як він обумовлює водостійку структуру, яка впливає на його фізико-хімічні та біологічні властивості. Крім того в гумусі міститься близько 3 % N, 2–2,5 % P₂O₅, 1,5–2 % K₂O, мікроелементи. При розкладі гумусу всі ці елементи звільняються і стають доступними рослинам (Gorban, Makalei, 2013).

Вивчення агрохімічних властивостей шахтних порід і штучних ґрунтів, дає змогу краще зрозуміти ті процеси, що проходять під впливом лісової рекультивації, що важливо для прогнозування їх подальшого еволюційного розвитку (Kojlova, 1987).

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводились на ділянці лісової рекультивації № 1 шахти «Павлоградська» (рисунк), де з 1976 року випробовуються різні варіанти рекультиваційного шару та конструкції деревних і чагарникових насаджень. Проби для досліджень відбиралися в 4 розрізах на варіантах штучних ґрунтів в насадженні клена гостролистого.

Для з'ясування агрохімічних властивостей штучних ґрунтів визначали: вміст гумусу – за методом Тюріна, вміст рухомих сполук фосфора і калія – за методом Чірікова, вміст нітратів – за іонометричним методом (Agrochymicheskiye metody..., 1965).

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Гумус – це перегній, органічна частина ґрунту, яка утворюється в результаті біохімічного перетворення тварин і рослинних залишків. До його складу входять гумінові кислоти, які є важливою складовою родючості ґрунту, і фульвокислоти. В гумусі знаходяться основні елементи живлення, необхідні рослинам, які під впливом мікроорганізмів ґрунту перетворюються в доступні для рослин форми.

На різних варіантах штучних ґрунтів ділянки лісової рекультивації вміст гумусу за профілем ґрунту неоднаковий і коливається у значних межах: чорноземні ґрунти – від 1,39±0,07 до 4,01±0,06 %, суглинок – від 1,43±0,02 до 1,73±0,04 %, пісок – від 0,15±0,02 до 0,61±0,01 %, шахтна порода – від 6,13±0,06 до 6,52±0,08 % (таблиця).

Найкращі показники зафіксовані на IV варіанті (суглинковий чорнозем), а найгірші – на II (суглинок). На шахтній породі показники гумусу високі, однак вони входять до складу денатурованих органічних сполук, недоступних для вільної мінералізації.

В розглянутих нами зразках ґрунту в I, II, III варіантах показники азоту дуже низькі (Gospodarenko, 2010) і коливаються в межах від 7,00±0,80 мг/кг (шахтна порода) на першому варіанті до 26,05±1,45 (чорноземні суглинки) на третьому.

Азот входить до складу складних сполук, з яких будується білок – основа живої матерії. При нестачі азоту рослини розкладають свої білки, щоб реутилізувати азот. Серед перших розкладаються білки хлоропластів, рослини жовтіють, слабо ростуть, листя обсыпається, скорочується вегетація (Makrushin, 2006).

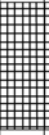
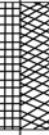
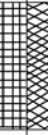
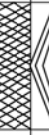
Варіант	Стратиграфія верхніх шарів			Маслинка вужьколиста	Сосна кримська	Смородина золотиста	Дуб звичайний	Каратана дерев'яниста	Схема розміщення посадкових місць									
	Назва	Позначення	Потужність шару, м															
I	Порода		2,0	Маслинка вужьколиста	Сосна кримська	Смородина золотиста	Дуб звичайний	Каратана дерев'яниста	В'яз низький	Клен татарський	Скупія звичайна	Аронія чорнопілля	Верба вавільонська	Клен гостролистий	Яловець віртинський	Береза бородавчата	Акація біла	Тополя Болле
	Суглинок		0,5															
II	Пісок		0,5	Маслинка вужьколиста	Сосна кримська	Смородина золотиста	Дуб звичайний	Каратана дерев'яниста	В'яз низький	Клен татарський	Скупія звичайна	Аронія чорнопілля	Верба вавільонська	Клен гостролистий	Яловець віртинський	Береза бородавчата	Акація біла	Тополя Болле
	Порода		1,0															
III	Чорнозем		0,5	Маслинка вужьколиста	Сосна кримська	Смородина золотиста	Дуб звичайний	Каратана дерев'яниста	В'яз низький	Клен татарський	Скупія звичайна	Аронія чорнопілля	Верба вавільонська	Клен гостролистий	Яловець віртинський	Береза бородавчата	Акація біла	Тополя Болле
	Пісок		0,5															
IV	Порода		1,0	Маслинка вужьколиста	Сосна кримська	Смородина золотиста	Дуб звичайний	Каратана дерев'яниста	В'яз низький	Клен татарський	Скупія звичайна	Аронія чорнопілля	Верба вавільонська	Клен гостролистий	Яловець віртинський	Береза бородавчата	Акація біла	Тополя Болле
	Чорнозем		0,5															
V	Пісок		1,0	Маслинка вужьколиста	Сосна кримська	Смородина золотиста	Дуб звичайний	Каратана дерев'яниста	В'яз низький	Клен татарський	Скупія звичайна	Аронія чорнопілля	Верба вавільонська	Клен гостролистий	Яловець віртинський	Береза бородавчата	Акація біла	Тополя Болле
	Суглинок		0,5															
VI	Пісок		0,5	Маслинка вужьколиста	Сосна кримська	Смородина золотиста	Дуб звичайний	Каратана дерев'яниста	В'яз низький	Клен татарський	Скупія звичайна	Аронія чорнопілля	Верба вавільонська	Клен гостролистий	Яловець віртинський	Береза бородавчата	Акація біла	Тополя Болле
	Суглинок		1,0															

Схема дослідів на ділянці лісової рекультивації № 1

Лише на 4 варіанті показники азоту значні і коливаються в межах $8,25 \pm 0,64$ мг/кг (пісок) – $62,1 \pm 1,53$ мг/кг (чорноземні суглинки). Значення показників азоту зменшується з глибиною в профілі, однак на горизонті P_2 110–150 см (пісок), показники високі $52,0 \pm 1,41$ мг/кг. Це можна пояснити міграцією за профілем і накопиченням азоту у складі відмерлих решток коренів рослин.

Фосфор бере участь у енергетичному обміні, зв'язаний із спадковою інформацією. Прискорює початковий ріст рослин, утворення генеративних органів (Makrushin, 2006).

**Агрохімічні показники шахтних порід і штучних насипних ґрунтів
рекультивційної ділянки № 1**

Горизонт взяття проби	Грануло- метричний склад	Гумус, %	Фосфор, мг/кг	Калій, мг/кг	Нітроген, мг/кг
1 варіант P_1 0–20 см	шахтна порода	$6,52 \pm 0,08$	$2,4 \pm 0,01$	$31,13 \pm 0,38$	$7,00 \pm 0,80$
1 варіант P_2 20–60 см	шахтна порода	$6,13 \pm 0,06$	$11,75 \pm 0,25$	$31,13 \pm 0,38$	$20,0 \pm 0,5$
2 варіант P_1 0–12 см	суглинок	$1,43 \pm 0,02$	$19,65 \pm 1,85$	$78,12 \pm 4,37$	$17,5 \pm 2,01$
2 варіант P_2 12–62 см	суглинок	$1,73 \pm 0,04$	$55,5 \pm 0,50$	$67,6 \pm 5,90$	$21,35 \pm 0,55$
2 варіант P_3 62–110 см	пісок	$0,52 \pm 0,03$	$10,45 \pm 3,25$	$40,1 \pm 4,6$	$10,5 \pm 1,81$
3 варіант H_1 0–17 см	суглинковий чорнозем	$2,30 \pm 0,05$	$13,85 \pm 0,15$	$102,75 \pm 0,75$	$26,05 \pm 1,45$
3 варіант H_2 17–55 см	суглинковий чорнозем	$2,11 \pm 0,03$	$19,9 \pm 0,40$	$67,5 \pm 6,01$	$19,65 \pm 2,56$
3 варіант P_1 55–105 см	пісок	$0,61 \pm 0,01$	$2,7 \pm 0,40$	$31,13 \pm 0,38$	$10,5 \pm 1,81$
4 варіант H_1 0–17 см	суглинковий чорнозем	$4,01 \pm 0,06$	$221,5 \pm 4,5$	$140,6 \pm 2,1$	$54,45 \pm 0,55$
4 варіант H_2 17–43 см	суглинковий чорнозем	$3,43 \pm 0,06$	$204,5 \pm 3,5$	$97,85 \pm 0,35$	$62,1 \pm 1,53$
4 варіант H_3 42–61 см	суглинковий чорнозем	$1,39 \pm 0,07$	$195,0 \pm 0,40$	$84,7 \pm 0,5$	$58,35 \pm 1,21$
4 варіант P_1 61–110 см	пісок	$0,24 \pm 0,02$	$12,2 \pm 1,20$	$50,5 \pm 0,5$	$8,25 \pm 0,64$
4 варіант P_2 110–150 см	пісок	$0,15 \pm 0,02$	$2,55 \pm 0,25$	$50,5 \pm 0,5$	$52,0 \pm 1,41$

Серед вивчених нами зразків показники фосфору були наступні: на I варіанті дуже низькі – від $2,4 \pm 0,01$ до $11,75 \pm 0,25$ мг/кг (шахтна порода). На II варіанті показники збільшуються і становлять від $10,45 \pm 3,25$ (пісок) до $55,5 \pm 0,50$ (суглинок) мг/кг, тобто з дуже низьких вони збільшуються до середніх показників. На III варіанті показники дуже низькі і коливаються в межах від $2,7 \pm 0,40$ до $19,9 \pm 0,40$ мг/кг. Найкращими показниками характеризується IV варіант, в умовах якого кількість фосфору в верхніх горизонтах оцінюється як дуже висока і коливається в межах від $195,00 \pm 0,40$ до $221,5 \pm 4,5$ мг/кг (чорноземні суглинки), але з глибиною за профілем вміст фосфору значно зменшується.

Калій зв'язаний з амінокислотним і білковим обмінами, впливає на утворення вуглеводнів при фотосинтезі, контролює рух продохів, підсилює асиміляцію CO_2 .

Найменшими показниками калію характеризується перший варіант $31,13 \pm 0,38$ мг/кг (шахтна порода), низькі показники.

Дефіцит калію порушує водний режим, ріст рослин, знижується фотосинтез. Листя жовтіє, покривається бурими плямами. На старих листках, які передають калій ростучим молодим органам, з'являються хлороз і некроз. Рослини втрачають тургор і в'януть (Borysjuk, 2015).

На II варіанті зафіксовані середні показники від $40,1 \pm 4,6$ (пісок) до $78,12 \pm 4,37$ мг/кг (суглинок), на III варіанті показники були зафіксовані від низьких $31,13 \pm 0,38$ (пісок) до підвищених $102,75 \pm 0,75$ мг/кг (чорноземний суглинок), на IV варіанті – від середніх $50,5 \pm 0,5$ (пісок) до високих $140,6 \pm 2,1$ мг/кг (чорноземний суглинок) (Gospodarenko, 2010). На всіх варіантах присутня тенденція зменшення вмісту калію вниз за ґрунтовим профілем, що корелює із зменшенням кількості коренів рослин з глибиною (Zverkovsky, 1987, 1988).

ВИСНОВКИ

1. На різних варіантах штучних ґрунтів ділянки лісової рекультивації вміст гумусу за профілем ґрунту неоднаковий і коливається у значних межах: чорноземні ґрунти – від $1,39 \pm 0,07$ до $4,01 \pm 0,06$ %, суглинок – від $1,43 \pm 0,02$ до $1,73 \pm 0,04$ %, пісок – від $0,15 \pm 0,02$ до $0,61 \pm 0,01$ %, шахтна порода – від $6,13 \pm 0,06$ до $6,52 \pm 0,08$ %. Найкращі показники зафіксовані на IV варіанті (суглинковий чорнозем), а найгірші – на II (суглинок).

2. В розглянутих нами зразках ґрунту в I, II, III варіантах показники азоту дуже низькі і коливаються в межах від $7,00 \pm 0,80$ мг/кг (шахтна порода) на першому варіанті і до $26,05 \pm 1,45$ (чорноземні суглинки) – на третьому. Лише на IV варіанті показники азоту значні і коливаються в межах $8,25 \pm 0,64$ мг/кг (пісок) – $62,1 \pm 1,53$ мг/кг (чорноземні суглинки).

3. Серед вивчених нами зразків показники фосфору були наступні: на I варіанті – дуже низькі, від $2,4 \pm 0,01$ до $11,75 \pm 0,25$ мг/кг (шахтна порода). На II варіанті показники збільшуються і становлять від $10,45 \pm 3,25$ (пісок) до $55,5 \pm 0,50$ (суглинок) мг/кг, тобто з дуже низьких вони збільшуються до середніх показників. На III варіанті показники дуже низькі і коливаються в межах від $2,7 \pm 0,40$ до $19,9 \pm 0,40$ мг/кг. Найкращими показниками характеризується IV варіант, в умовах якого кількість фосфору в верхніх горизонтах оцінюється як дуже висока і коливається в межах від $195,00 \pm 0,40$ до $221,5 \pm 4,5$ мг/кг (чорноземні суглинки), але з глибиною за профілем вміст фосфору значно зменшується.

4. Найменшими показниками калію характеризується перший варіант $31,13 \pm 0,38$ мг/кг (шахтна порода), низькі показники. На II варіанті зафіксовані середні показники від $40,1 \pm 4,6$ (пісок) до $78,12 \pm 4,37$ мг/кг (суглинок). На III варіанті показники були зафіксовані від низьких $31,13 \pm 0,38$ (пісок) до підвищених $102,75 \pm 0,75$ мг/кг (чорноземний суглинок). На IV варіанті – від середніх $50,5 \pm 0,5$ (пісок) до високих $140,6 \pm 2,1$ мг/кг (чорноземний суглинок). На всіх варіантах спостерігається зменшення вмісту калію вниз за ґрунтовим профілем.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ / REFERENCES

- Agrochymicheskye metody issledovaniya pochv, 1965 [Agrochemical methods of soil research]. Moscow, Nauka (in Russian).
- Borysjuk, L. B., 2015. Agrochymichny vlastyvos-ty tehnoszemiv na recultivovanih zemljach [Agrochemical properties tehnoszemiv on reclaimed land]. The Environmental security as the basis of sustainable development. European experience and perspectives materials II Intern. nauk. and practical. conf. Lviv, 124–126 (in Ukrainian).
- Eterevska, L. V., 2008. Recultivovani grunty: pidchody do klassifikacii i sistematiki [Reclaimed soils: approaches to classification and taxonomy]. Gruntoznavstvo 9(3-4), 147–150 (in Ukrainian).
- Gorban, V. A., Makalei, Z. A., 2013. Rol fiziko-chimicheskikh i fizicheskych issledovaniy pry lesnoj recultivacii v uslovijah stepnoy zoni Ukraini [The role of physico-chemical and physical research at the forest reclamation in the steppe zone of Ukraine]. Gruntoznavstvo 14(1-2), 102–108 (in Russian).

- Gospodarenko, G. M., 2010. Agrochimija [Agrochemistry]. Kyiv (in Ukrainian).
- Kojlova, E. V., 1987. Formirovanie selskochozjajstvennich ugodiy s podposchvennim oroseniem na recultiviruemich zemljach [Formation of agricultural land with subsoil irrigation on lands rekultiviruemih]. Protection and rational use of protective forest steppe zone. DSU, Dnepropetrovsk, 138–144 (in Russian).
- Makrushin, M. M., 2006. Fiziologija roslyn [Plant physiology]. Vinnytsia (in Ukrainian).
- Travleev, A. P., 1988. Vlijanie toksicheskikh piritsoderzhashich substratov na sostojanie lesnoy bioty v uslovijach promislennogo zagryaznenia Zapadnogo Donbassa [The impact of toxic pyrite-bearing substrates on the state of the forest biota in terms of industrial pollution in Western Donbass]. Ecotoxicology and Environmental Protection. Riga, 184–185 (in Russian).
- Zverkovsky, V. N., 1987. Adaptacija drevesnich porod k technogennim uslovijam Zapad-nogo Donbassa [Adaptation of tree species to technogenic conditions of Western Donbas]. Mechanisms of adaptation of plants and animals to extreme environmental factors. Abstracts I Rostov Regional scientific seminar. Rostov-on-Don (in Russian).
- Zverkovsky, V. N., 1988. Osobennosti rasvitija kornevich system drevesnich porod v uslovijach razlichnoy stratigrafii iskustvennich pochvo-gruntov recultiviruemich schachtnich otvalov Zapadnogo Donbassa [Features of development of root systems of tree species under different artificial stratigraphy of soils rekultiviruemih mine dumps Western Donbass]. Monitoring studies of forest steppe zone ecosystems and their protection and rational use. DSU, Dnepropetrovsk, 129–137 (in Russian).
- Zverkovsky, V. N., 2002. Osobennosti razvitija lesnjch nasaschdeniy v mnogoletnem eksperimente porecultivacij otvala schacti «Pavlogradskej» [Features of the development of forest plantations in the long-term experiment on the reclamation of the mine dump «Pavlogradsкая»]. Question steppe forest and forest land reclamation. Dnipropetrovsk, 21–30 (in Russian).

Стаття надійшла в редакцію: 11.05.2016

TO AUTHORS' ATTENTION !

When preparing the article for sending to the editorial board, stick to the following rules:

1. Send at the address of the editorial board two printed copies of the article, at the e-mail address – electronic version.

The article should be checked carefully, signed by all authors and attended with written reference, signed by Doctor of Sciences of appropriate specialization and expert conclusion about the possibility of open publication of the article.

The size of the article is 10 pages of typescript at the most (one page in the journal format contains about 4500 signs, including the spaces).

The size of the illustrations and tables should be 30 % of the article size at the most.

All text materials should be given in 1,5 intervals. From each edge of the page 2 cm. should be left, shrift – Times New Roman 12 points, indentation – 0,8 cm.

When setting the type it is necessary to distinguish between hyphen and dash and to use double angle brackets.

It is obligatory to set a space between initials and a surname. Text materials should be made in the text editor MS Word 2003, 2007, as a document Word (*.doc).

Mathematical formulae and equations should be made in equation editor Microsoft Equation, chemical – in the editor ISIS Draw.

3. Use the units of International Measurement System.

4. The structure of the article:

- UDC index in the upper left corner of the page;
- initials and surnames of all authors (preferably not more than 4 persons), indicating the scientific degree and the academic status of each author;
- the full name and the address of the organization in which the research was conducted (in Ukrainian, Russian and English), e-mail address, telephone number for hot link with the author;
- the title of the article in Ukrainian, Russian and English, which briefly informs about the substance of it and content 13 words at the most;
- the annotation is expanded in English (600-700 words), it should contain the information about the aim, methods, data, scientific novelty, practical importance, key words (6 – 8 words); the annotation is reduced in Ukrainian and Russian, where the results, main conclusions and key words (6 – 8 words) are given;
- the body text of the article should content the following parts: Introduction; Data and methods of the research; Results and their discussion; Conclusions; References.

Tables should be numerated according to their mentioning in the text. Give a brief title at the top of each table. Statistical and other detailed information is given as a note below. Table data should be made in the table editor MS Word 2003, 2007.

Number illustrations according to their discussion in the text. Point at the foot of the illustration its title. The illustrations in the article should have the separate electronic copy. Diagrams and graphic charts should be made in Microsoft Excel, Statistica program packages, schemes – in Visio program package. Save them in the format of these programs as separate files (e.g., petrov_ris1).

The best file formats for scanning the images are TIFF, JPEG, EMF. All elements of text in the images (graphic charts, diagrams, schemes) if it is possible should have a font Times New Roman or Times New Roman Cyr (in a particular instance Courier). Keep each image in a separate object. The images after scanning when printing should be clear, as well as original one.

- gratitude as appropriate is given in the end of the article before the list of references;
- list of used literature. References to the literature should be given in the semicircular brackets with the name of quoted author (or the title of the source if there are more than three authors) and the publication date. In the list of references every Ukrainian-language and Russian-language source should be given through the transliteration in English letters indicating the English translation in square brackets, as well as in semicircular brackets - the original source of language;
- who (from editorial board) recommends the article for publication.

5. Separately the electronic data about the authors which content the information about the surname, name and middle name in full, academic degree, academic rank, workplace (full and abbrevi-

ated name of organization), post, town, country, contact phone number and e-mail are given in Ukrainian, Russian and English.

6. 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.

Sent materials are not returned back. The editorial board preserves a right to correct and abridge the text or send the script back for revision in the case of nonobservance of the above rules.

Authors take the responsibility for the content of the materials.

ДО УВАГИ АВТОРІВ !

При оформленні статті до надсилання в редакцію просимо дотримуватися таких правил:

1. Надіслати на адресу редакційної колегії два роздрукованих екземпляри статті, на електронну адресу – електронну версію.

Стаття має бути ретельно перевірена, підписана всіма авторами і супроводжуватися письмовою рекомендацією, підписаною доктором наук відповідного профілю та експертним висновком про можливість відкритої публікації поданої статті.

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 2003, 2007 як документ Word (*.doc). Математичні формули і рівняння готуйте в редакторі рівнянь Microsoft Equation, а хімічні – у редакторі ISIS Draw.

3. Використовуйте одиниці Міжнародної системи вимірювань.

4. Структура статті:

- індекс УДК у верхньому лівому куті сторінки;
- ініціали та прізвища усіх авторів (бажано не більше 4 особи), із зазначенням вченого ступеня та звання кожного автора;
- повна назва і адреса організації, у якій виконувалися дослідження, подати українською, російською та англійською мовами, а також указати *e-mail*, телефон для оперативного зв'язку з автором;
- назва статті українською, російською та англійською мовами, яка повинна коротко інформувати про її зміст і містити не більше 13 слів;
- анотація: розширена – англійською мовою (600–700 слів), повинна містити інформацію про мету, методику, результати, наукову новизну, практичну значимість, ключові слова (6–8 слів); скорочені – українською та російською мовами, в яких коротко описують результати головних висновки проведених досліджень, ключові слова (6–8 слів);
- основний текст статті повинен містити такі розділи: Вступ; Матеріали та методи досліджень; Результати та їх обговорення; Висновки; Список використаної літератури.

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 2003, 2007.

Рисунки нумерують у порядку їх обговорення в тексті. Унизу рисунка указати його назву. Рисунки до статті повинні мати окрему копію в електронному вигляді. Діаграми та графіки слід виконувати у пакетах Excel, Statistica, схеми – у пакеті Visio 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 повинні бути чітким, не гіршим за чіткість основного тексту.

- подяки при необхідності подаються наприкінці статті перед списком використаної літератури;

- список використаної літератури. 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. У списку використаних джерел кожне україномовне чи російськомовне джерело слід подавати транслітерацією англійськими літерами із зазначенням у квадратних дужках перекладу англійською мовою, а також у напівкруглих дужках – оригінальну мову джерела;

- ким з членів редакційної колегії рекомендовано статтю до публікації.

5. Окремо подаються відомості про авторів в електронному вигляді, які містять інформацію про прізвище, ім'я та по батькові повністю, науковий ступінь, вчене звання, місце роботи (повна та скорочена назва організації), посада, місто, країна, контактні телефони та електронна пошта) українською, російською та англійською мовами.

6. 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.

Науковий журнал

ҐРУНТОЗНАВСТВО
2016. Т. 17, № 1–2

Українською, російською та англійською мовами

Засновники:

ДНІПРОПЕТРОВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ім. О. ГОНЧАРА,
ТОВ «АГЕНТСТВО «ТЕЛЕПРЕСІНФОРМ»

Свідоцтво про державну реєстрацію КВ 21140-10940 ПР від 19.01.15 р.

Літературне редагування та коректура – А. О. Черненко
Художньо-технічне оформлення та комп'ютерна верстка – В. А. Горбань

Підписано до друку 18.06.2016 р. Формат 70×108 1/16. Папір офсетний.
Друк плоский. Гарнітура Times New Roman. Умовн. друк. арк. 14.
Замовлення № . Тираж 200 прим.
