

Potential of soil for sustainable intensification of Ukrainian agriculture

Anatoliy Kucher

*Corresponding Member at Academy of Economic Sciences of Ukraine (AESU), Dr.
National Scientific Center «Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after
O.N. Sokolovsky», Ukraine*

Introduction. The relevance of the study is that one of the main conditions for sustainable agriculture is the constant preservation of the optimal level of soil fertility.

Purpose. The purpose of the paper is assessment of potential of soil for sustainable intensification of Ukrainian agriculture.

Methodology / approach. Different methods we used to achieve the goal in the research: abstract-logical, statistical, monographic, calculation-analytical, graphical, expert assessments. As the main material for these studies, State Statistics Service of Ukraine data, State Institution «Institute for Soil Protection of Ukraine» data were used.

Results. We consider the current state and trends of the state of soil fertility of arable land in the regions and zones of Ukraine. The potential of the soil for sustainable intensification of agriculture in the regions and zones of Ukraine is estimated. This potential was evaluated on the basis of soil fertility data, in particular regarding the content of organic matter, which is one of the main conditions for long-term increasing of agricultural land productivity. The role of soil-ecological zoning as a basis for revealing the agro-resource potential of soils is shown.

Originality / scientific novelty. For the first time an attempt was made to assess the potential of the soil for sustainable intensification in agriculture of regions and zones of Ukraine; the main factors influencing this potential are identified.

Practical value / implications. The obtained results can be used to make managerial decisions on sustainable intensification of agriculture at the regional level. However, on the local (farm) level, more research is needed.

Keywords: sustainable intensification; sustainable soil management; soil fertility; quality of agricultural land; agricultural enterprises; Ukraine.

Потенціал ґрунту для стійкої інтенсифікації сільського господарства України¹

Анатолій Кучер

*Канд. пед. наук, член-кореспондент Академії економічних наук України
ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», Україна*

Введение. Актуальность исследования заключается в том, что одним из основных условий устойчивого сельского хозяйства является постоянное сохранение оптимального уровня плодородия почвы. В связи с прогнозируемым ростом населения в мире (к 2050 г. население планеты достигнет 9,1 млрд человек) для удовлетворения потребностей в продовольствии (на 60 % больше) потребуется дальнейшая устойчивая интенсификация

¹ The publication contains the results of studies conducted by President’s of Ukraine grant for competitive projects F75 of the State Fund for Fundamental Research.

производства сельскохозяйственной продукции. Поскольку площади пахотных земель в мире ограничены, большую часть дополнительного производства будет получено за счет устойчивой интенсификации аграрного производства.

Согласно ФАО, устойчивая интенсификация рассматривает ландшафты, территории и экосистемы в целом для оптимизации использования ресурсов и управления ими. Фермеры должны производить больше на тех же земельных участках и использовать меньшее количество исходных ресурсов, получая большие урожаи (Sustainable, 2018). Одним из ключевых условий устойчивой интенсификации аграрного производства есть сохранение и повышение запасов органического вещества (основным компонентом которого есть органический углерод) в почве, что играет важнейшую роль не только в формировании долгосрочной продуктивности земель, но и в смягчении последствий изменения климата.

Во время Климатического саммита в Париже в 2015 г. несколько государств и организаций согласились с инициативой «4/1000» в области продовольственной безопасности и климата. Эта инициатива направлена на увеличение мировых запасов органического углерода (SOC) на 4 % в год. Ученые заявляют, что при нынешнем климате в Центральной Европе рост запасов SOC в почве сильно зависит от состояния развития почв (Schiefer и др., 2018). В 2017 г. ФАО презентовала первую в истории Глобальную карту запасов почвенного углерода, разработанную с участием более 100 государств-членов при поддержке Межгосударственного технического совета ФАО по почвам. Это конкретный вклад в достижение Цели устойчивого развития 15 – Жизнь на земле. Следующим шагом станет переход стран на мониторинг содержания органического углерода в почве для принятия обоснованных управленческих решений (Global soil, 2018). Согласно с картой, в мире на глубине первых 30 см почвы содержится около 680 млрд т углерода, что почти вдвое больше, чем в атмосфере. Это значительный объем по сравнению с углеродом, хранящимся во всей растительности мира (560 млрд т). Более 60 % от этих 680 млрд т углерода сосредоточено всего в десяти странах (в порядке убывания: Россия, Канада, США, Китай, Бразилия, Индонезия, Австралия, Аргентина, Казахстан и Демократическая Республика Конго).

В Европе ученые изучают проблему оценки потенциала почвы для устойчивой интенсификации в сельском хозяйстве (Blum и др., 2015a, 2015b; Schiefer и др., 2015, 2016, 2018), тем не менее, в Украине такие исследования практически отсутствуют.

Материал и методы. Цель работы заключается в оценке потенциала почвы для устойчивой интенсификации в сельском хозяйстве Украины. Для достижения поставленной цели в этом научном исследовании использовали разнообразные методы: абстрактно-логический, статистический, монографический, расчетно-аналитический, графический, экспертных оценок. В качестве основного материала для этого исследования использованы данные Государственной службы статистики Украины и Государственного учреждения «Институт охраны почв Украины».

Для оценивания потенциала почвы для устойчивой интенсификации в сельском хозяйстве Украины мы сравнивали фактические показатели плодородия почв с оптимальными (эталонными) значениями по таким параметрам:

- (1) содержание гумуса в почве (по методу Тюрина), %;
- (2) содержание подвижных соединений фосфора в почве (по методу Чирикова), мг/кг;
- (3) содержание подвижных соединений калия в почве (по методу Чирикова), мг/кг.

Оптимальное содержание гумуса в почве (по данным ННЦ «Институт почвоведения и агрохимии имени А. Н. Соколовского») составляет в зоне Лесостепи и Степи 4,3 %, в Полесье – 2,6 %, в среднем в Украине – 4,0 %.

Эталон для элементов питания по макроэлементам составляет (Yakist, 2005):

- (1) для подвижного фосфора – 200 мг/кг (по методу Чирикова);
- (2) для подвижного калия – 180 мг/кг (по методу Чирикова).

Частичные коэффициенты потенциала почв для устойчивой интенсификации вычисляли как соотношение фактического показателя к оптимальному значению. Интегральный

коэффициент потенциала почв для устойчивой интенсификации определяли как среднее арифметическое значение частных коэффициентов.

Для интерпретации результатов оценки использована функция желательности Харрингтона с определением таких уровней потенциала почв для устойчивой интенсификации (П):

0,800 и более – очень высокий уровень потенциала почв для устойчивой интенсификации сельского хозяйства;

$0,630 \leq П < 0,800$ – высокий уровень потенциала почв для устойчивой интенсификации сельского хозяйства;

$0,370 \leq П < 0,630$ – средний (удовлетворительный) уровень потенциала почв для устойчивой интенсификации сельского хозяйства;

$0,200 \leq П < 0,370$ – низкий уровень потенциала почв для устойчивой интенсификации сельского хозяйства;

$0,0 \leq П < 0,200$ – очень низкий уровень потенциала почв для устойчивой интенсификации сельского хозяйства.

Результаты и обсуждение. Результаты анализа современного состояния и тенденций изменения плодородия почв (на примере средневзвешенного содержания гумуса) пахотных земель в регионах (табл. 1) и почвенно-климатических зонах (табл. 2) Украины свидетельствуют об общей тенденции к ухудшению ситуации.

1. Современное состояние и тенденции изменения средневзвешенного содержания гумуса в почвах пахотных земель в регионах Украины

| Регионы | Туры обследования | | | | 10 тур +, – к | |
|------------------|-------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|---------------|-----------|
| | 1961 (1 тур) | 1981–1985 (4 тур) | 2006–2010 (9 тур) | 2011–2015 (10 тур) | 1 туру | 9 туру |
| АР Крым | 2,8 | 2,4 | 2,48 | - | - | - |
| Винницкая | 3,1 | 2,9 | 2,70 | 2,70 | -0,40 | 0,00 |
| Волынская | 1,8 | 1,6 | 1,59 | 1,56 | -0,24 | -0,03 |
| Днепропетровская | 4,3 | 4,5 | 3,83 | 3,77 | -0,53 | -0,06 |
| Донецкая | 4,6 | 4,3 | 4,17 | 3,80 | -0,80 | -0,37 |
| Житомирская | 2,3 | 1,9 | 1,92 | 2,01 | -0,29 | 0,09 |
| Закарпатская | 3,1 | 2,3 | 2,48 | 2,56 | -0,54 | 0,08 |
| Запорожская | 3,4 | 3,1 | 3,52 | 3,40 | 0,00 | -0,12 |
| Ив.-Франковская | 2,8 | 2,5 | 3,10 | 3,28 | 0,48 | 0,18 |
| Киевская | 3,3 | 3,1 | 2,90 | 2,98 | -0,32 | 0,08 |
| Кировоградская | 4,8 | 4,5 | 4,10 | 4,11 | -0,69 | 0,01 |
| Луганская | 4,7 | 4,4 | 3,95 | 3,91 | -0,79 | -0,04 |
| Львовская | 2,5 | 2,1 | 2,48 | 2,67 | 0,17 | 0,19 |
| Николаевская | 4,1 | 3,8 | 3,15 | 3,24 | -0,86 | 0,09 |
| Одесская | 3,7 | 3,3 | 3,35 | 3,77 | 0,07 | 0,42 |
| Полтавская | 4,3 | 4,0 | 3,26 | 3,18 | -1,12 | -0,08 |
| Ровенская | 2,3 | 1,9 | 2,15 | 2,27 | -0,03 | 0,12 |
| Сумская | 4,0 | 3,7 | 3,58 | 3,50 | -0,50 | -0,08 |
| Тернопольская | 3,3 | 3,0 | 3,14 | 3,13 | -0,17 | -0,01 |
| Харьковская | 5,3 | 4,9 | 4,20 | 4,10 | -1,20 | -0,10 |
| Херсонская | 2,6 | 2,3 | 2,39 | 2,45 | -0,15 | 0,06 |
| Хмельницкая | 3,1 | 2,8 | 3,08 | 2,96 | -0,14 | -0,12 |
| Черкасская | 3,5 | 3,2 | 3,12 | 3,06 | -0,44 | -0,06 |
| Черновицкая | 3,4 | 3,0 | 2,30 | 2,60 | -0,80 | 0,30 |
| Черниговская | 2,2 | 2,0 | 2,47 | 2,41 | 0,21 | -0,06 |

Источник: составил и рассчитал автор на основании данных Государственного учреждения «Институт охраны почв Украины».

Почти во всех регионах Украины наблюдается тенденция к снижению содержания гумуса в почвах как основного энергетического ресурса формирования урожайности сельхозкультур, особенно в долгосрочной ретроспективе. На протяжении последних 10 лет наиболее существенно снизилось содержание гумуса в Донецкой (-0,37 %), Запорожской (-0,12 %) и Хмельницкой (-0,12 %) областях. В то же время в некоторых регионах наблюдаем тенденцию к улучшению ситуации. Например, наиболее существенный рост средневзвешенного содержания гумуса в почве зафиксировано в Одесской (+0,42 %), Черновицкой (+0,30 %), Львовской (+0,19 %) и Ивано-Франковской (+0,18 %) областях, то есть преимущественно в регионах зоны Полесья. Это связано, прежде всего, с тем, что в этой зоне в последние годы выведены с оборота малопродуктивные сельскохозяйственные земли. В этом контексте, как и следовало бы ожидать, в среднем в зоне Полесья наблюдается тенденция к росту содержания гумуса в почве, хоть и незначительному.

2. Современное состояние и тенденции изменения средневзвешенного содержания гумуса в почвах пахотных земель в разрезе почвенно-климатических зон и в целом в Украине

| Зоны | Туры обследования | | | | 10 тур +, – к | |
|----------------|-------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|---------------|-----------|
| | 1961 (1 тур) | 1981–1985 (4 тур) | 2006–2010 (9 тур) | 2011–2015 (10 тур) | 1 туру | 9 туру |
| Украина | 3,5 | 3,32 | 3,14 | 3,16 | -0,34 | 0,02 |
| Степь | 3,8 | 3,63 | 3,40 | 3,45 | -0,35 | 0,05 |
| Лесостепь | 3,8 | 3,52 | 3,19 | 3,21 | -0,59 | 0,02 |
| Полесье | 2,2 | 1,98 | 2,24 | 2,33 | 0,13 | 0,09 |

Источник: составил и рассчитал автор на основании данных Государственного учреждения «Институт охраны почв Украины».

Результаты долгосрочного анализа динамики средневзвешенного содержания гумуса в почвах пахотных земель в разрезе почвенно-климатических зон и в Украине в целом свидетельствуют о том, что в период 1961–2010 гг. этот показатель уменьшался, но в последние годы наметился позитивный тренд, хотя фактические показатели еще далеки от оптимального их уровня.

На втором этапе исследования мы оценили потенциал почвы для устойчивой интенсификации в сельском хозяйстве в разрезе регионов и зон Украины (табл. 3, рис. 1). Напомним, что этот потенциал определен на основе данных (последнего тура обследования) по плодородию почвы, в частности относительно содержания органического вещества, что является одним из основных условий долгосрочного повышения продуктивности сельскохозяйственных земель, а также фосфора и калия.

Полученные результаты, на первый взгляд, кажутся в некоторой степени неожиданными, поскольку в числе лидеров оказались преимущественно регионы зоны Степи и Полесья. Это связано, прежде всего, с высоким средневзвешенным содержанием подвижного калия в почвах Николаевской (195 мг/кг), Херсонской (193 мг/кг) и Запорожской (176,5 мг/кг) областей.

Как свидетельствуют приведенные данные, все области по уровню потенциала почв для устойчивой интенсификации сельского хозяйства в аграрных предприятиях регионов Украины можно объединить в следующие группы:

- высокий уровень потенциала почв для устойчивой интенсификации – Николаевская (0,796), Запорожская (0,796), Херсонская (0,792), Днепропетровская (0,775), Львовская (0,731), Ивано-Франковская (0,717), Кировоградская (0,706), Одесская (0,684), Донецкая (0,670),

Полтавская (0,662), Харьковская (0,649), Тернопольская (0,640), Черниговская (0,630) и Сумская (0,630) области;

- средний (удовлетворительный) уровень потенциала почв для устойчивой интенсификации – Луганская (0,626), Хмельницкая (0,625), Закарпатская (0,624), Киевская (0,623), Черкасская (0,611), Ровенская (0,593), Винницкая (0,554), Житомирская (0,543), Волинская (0,485) и Черновицкая (0,404) области.

В категорию очень высокого, низкого и очень низкого уровня потенциала почв для устойчивой интенсификации не попал ни один регион. Видимо, если изменить набор показателей для оценки указанного потенциала, то результат может быть иной. Вместе с тем следует отметить, что полученные нами результаты основываются на усредненных данных по регионам, что в некоторой мере ограничивает их использование потому, что в каждом регионе есть почвы с разным потенциалом для устойчивой интенсификации аграрного производства.

3. Потенциал почв для устойчивой интенсификации сельского хозяйства в регионах и почвенно-климатических зонах Украины, коэф.

| Регионы, зоны | Частичные коэффициенты потенциала почв для устойчивой интенсификации по содержанию: | | | Интегральный коэффициент | |
|------------------|---|---------|-------|--------------------------|------|
| | гумуса | фосфора | калия | значение | ранг |
| Винницкая | 0,628 | 0,435 | 0,600 | 0,554 | 19 |
| Волинская | 0,600 | 0,590 | 0,266 | 0,485 | 21 |
| Днепропетровская | 0,877 | 0,648 | 0,802 | 0,775 | 3 |
| Донецкая | 0,884 | 0,491 | 0,637 | 0,670 | 8 |
| Житомирская | 0,773 | 0,585 | 0,272 | 0,543 | 20 |
| Закарпатская | 0,985 | 0,408 | 0,480 | 0,624 | 15 |
| Запорожская | 0,791 | 0,617 | 0,981 | 0,796 | 1 |
| Ив.-Франковская | 1,262 | 0,395 | 0,494 | 0,717 | 5 |
| Киевская | 0,693 | 0,605 | 0,572 | 0,623 | 16 |
| Кировоградская | 0,956 | 0,430 | 0,733 | 0,706 | 6 |
| Луганская | 0,909 | 0,390 | 0,578 | 0,626 | 13 |
| Львовская | 1,027 | 0,678 | 0,489 | 0,731 | 4 |
| Николаевская | 0,753 | 0,550 | 1,083 | 0,796 | 1 |
| Одесская | 0,877 | 0,410 | 0,767 | 0,684 | 7 |
| Полтавская | 0,740 | 0,625 | 0,622 | 0,662 | 9 |
| Ровенская | 0,873 | 0,605 | 0,300 | 0,593 | 18 |
| Сумская | 0,814 | 0,525 | 0,550 | 0,630 | 12 |
| Тернопольская | 0,728 | 0,530 | 0,661 | 0,640 | 11 |
| Харьковская | 0,953 | 0,515 | 0,478 | 0,649 | 10 |
| Херсонская | 0,570 | 0,735 | 1,072 | 0,792 | 2 |
| Хмельницкая | 0,688 | 0,580 | 0,606 | 0,625 | 14 |
| Черкасская | 0,712 | 0,647 | 0,476 | 0,611 | 17 |
| Черновицкая | 0,605 | 0,260 | 0,348 | 0,404 | 22 |
| Черниговская | 0,927 | 0,540 | 0,422 | 0,630 | 12 |
| Украина | 0,790 | 0,552 | 0,669 | 0,670 | х |
| Степь | 0,802 | 0,554 | 0,881 | 0,746 | х |
| Лесостепь | 0,747 | 0,543 | 0,556 | 0,615 | х |
| Полесье | 0,896 | 0,565 | 0,369 | 0,610 | х |

Источник: рассчитал автор на основании данных Государственного учреждения «Институт охраны почв Украины».

Результаты парного корреляционного анализа показали, что интегральный коэффициент потенциала почв для устойчивой интенсификации имеет (1) прямую высокую корреляционную связь с содержанием калия в почве ($r = 0,803$), (2) прямую умеренную корреляционную связь с содержанием фосфора в почве ($r = 0,434$) и (3) прямую умеренную корреляционную связь с содержанием гумуса в почве ($r = 0,357$). Регрессионный анализ показал, что повышение каждого из частичных коэффициентов потенциала почв для устойчивой интенсификации на одну единицу способствует росту интегрального коэффициента на 0,333. Главными факторами повышения интегрального коэффициента потенциала почв для устойчивой интенсификации в каждом конкретном регионе будут те, которые имеют наименьший частичный коэффициент потенциала почв для устойчивой интенсификации аграрного производства. Например, в Винницкой области таким фактором есть содержание фосфора, в Волынской – содержание калия, в Херсонской – содержание гумуса и т. д. На первом этапе следует ставить за цель повышение соответствующего показателя до среднего по зоне, а на втором – до оптимального значения.

Мы также провели парный корреляционный анализ данных на уровне регионов Украины по интегральному коэффициенту потенциала почв для устойчивой интенсификации с нормативной урожайностью зерновых культур (озимые пшеница, рожь, ячмень; яровой ячмень; просо, овес; гречиха, горох, соя), которая определена по результатам 25-летних полевых опытов, проведенных на территории Украины за счет естественного плодородия почв (без внесения удобрений). Коэффициент парной корреляции составляет 0,443, что свидетельствует о прямой умеренной корреляционной связи между исследуемыми показателями. Это в некоторой мере подтверждает логичность полученных результатов оценки потенциала почв для устойчивой интенсификации сельского хозяйства.

Таким образом, чем выше интегральный коэффициент потенциала почв для устойчивой интенсификации, тем лучше возможности для осуществления экологически безопасной интенсификации использования земель, поскольку соответственные почвы обладают такими свойствами, которые максимально близки к оптимальным параметрам. И наоборот, низкое значение интегрального коэффициента потенциала почв для устойчивой интенсификации может свидетельствовать о возможных эколого-экономических рисках устойчивой интенсификации.

Важную роль в осуществлении устойчивой интенсификации играет почвенно-экологическое районирование как основа для выявления агресурсного потенциала почв. В ННЦ «Институт почвоведения и агрохимии имени А. Н. Соколовского» ученые разработали почвенно-экологическое районирование – объединение почвенного покрова в относительно однородные территории по почвам определенного эколого-генетического статуса различных таксономических уровней. В его основе лежат закономерности связи между количественными показателями почвенных свойств и параметрами естественных факторов их формирования. В соответствии с почвенно-экологическим районированием ученые разработали зоны специализации земледелия Украины. Реализация зональной системы специализации даст возможность в Украине получать среднегодовалый валовой сбор зерновых и зернобобовых при природном плодородии 51,5 млн т, при эффективном плодородии – 63,6 млн т (в том числе пшеница озимая – 18,1 и 24,0; ярые зерновые – 8,6 и 12,0; кукуруза на зерно – 13,6 и 16,5; зернобобовые – 8,5 и 10,1 млн т); а также подсолнечника – 3,3 и 3,9; сахарной свеклы – 9,0 и 13,6 млн т соответственно (Polupan и др., 2015).

Одним с главных инструментов реализации и повышения потенциала почв для устойчивой интенсификации аграрного производства считаем устойчивый почвенный менеджмент. Он нацелен на такое управление почвами, при котором сохраняется и/или повышается качество почв, а также количество и стоимость предоставленных ими экосистемных услуг (сервисов). Поскольку в большинстве регионов Украины изучены агрохимические показатели состояния плодородия почв, как правило, не достигают оптимального уровня, поэтому можно констатировать наличие значительных резервов для

повышения продуктивности земель. Таким образом, реализация этих резервов должна стать главной целью устойчивого почвенного менеджмента в аграрных предприятиях.

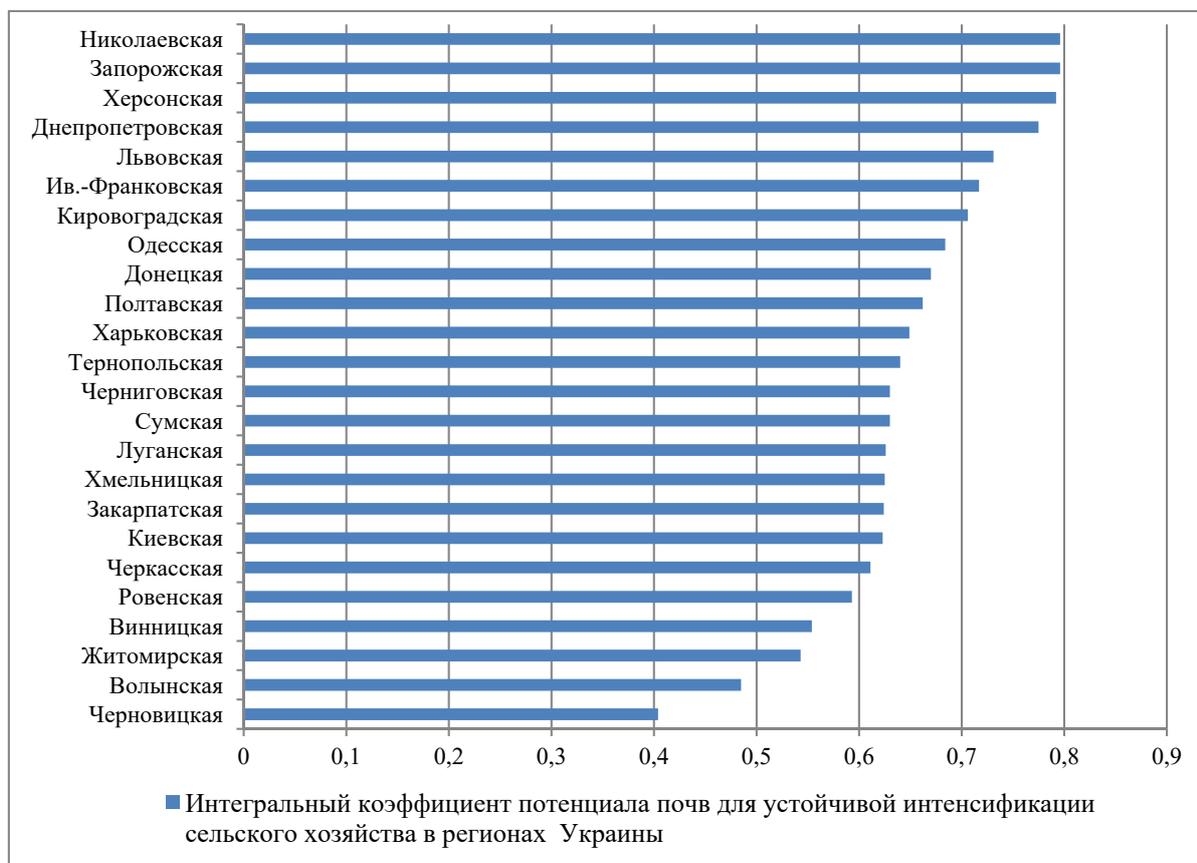


Рис. 1. Рейтинг регионов Украины по уровню потенциала почв для устойчивой интенсификации сельского хозяйства

Источник: построил автор на основании данных табл. 3.

Заключение. Анализ современного состояния и тенденций изменения плодородия почв пахотных земель в регионах и зонах Украины свидетельствуют об общей тенденции к ухудшению ситуации, но в некоторых регионах, прежде всего зоны Полесья идентифицирован положительный тренд. На основании данных по плодородию почвы, в частности относительно содержания органического вещества, что является одним из основных условий долгосрочного повышения продуктивности сельскохозяйственных земель, а также фосфора и калия, оценен потенциал почвы для устойчивой интенсификации в сельском хозяйстве в разрезе регионов и зон Украины. Это позволило все регионы Украины по уровню потенциала почв для устойчивой интенсификации сельского хозяйства в аграрных предприятиях объединить в две группы с высоким (размещены в порядке убывания: Николаевская, Запорожская, Херсонская, Днепропетровская, Львовская, Ивано-Франковская, Кировоградская, Одесская, Донецкая, Полтавская, Харьковская, Тернопольская, Черниговская и Сумская области; и средним уровнем потенциала почв для устойчивой интенсификации (размещены в порядке убывания: Луганская, Хмельницкая, Закарпатская, Киевская, Черкасская, Ровенская, Винницкая, Житомирская, Волынская и Черновицкая области.

Показана важная роль почвенно-экологического районирования как основы для выявления агресурсного потенциала почв и формирования зональной специализации земледелия. Ключевым инструментом практической реализации и повышения потенциала

почв для устойчивой интенсификации аграрного производства в Украине должен стать устойчивый почвенный менеджмент на разных уровнях управления.

Оригинальность заключается в том, что впервые предпринята попытка оценить потенциал почвы для устойчивой интенсификации в сельском хозяйстве в разрезе регионов и зон Украины; определены основные факторы, влияющие на этот потенциал, которые индивидуальны в каждом конкретном регионе. Ключевыми факторами повышения потенциала почв для устойчивой интенсификации в конкретном регионе будут те, которые имеют наименьший частичный коэффициент этого потенциала почв.

Практическая ценность заключается в том, что полученные результаты могут быть использованы для принятия управленческих решений для устойчивой интенсификации сельского хозяйства на региональном уровне. Вместе с этим на локальном уровне нужны дополнительные исследования.

Список ссылок

1. Blum, W. E. H., Schiefer, J. and Lair, G. J. (2015a), European land resources for the sustainable intensification of agriculture. *Soil and Agrotechnology in a changing world*, Sofia, May 11–15, pp. 13–17. ISSAPP Pushkarov Nikola, Sofia, Bulgaria.
2. Blum, W. E. H., Schiefer, J. and Lair, G. J. (2015b), Land Resources for Sustainable Intensification of Agriculture in Europe, *Biobased Future*, vol. 4, pp. 12–12.
3. Global soil organic carbon map. Version 1.0. (2017), Food and Agriculture Organization of the United Nations, 5 p. URL: <http://www.fao.org/3/a-i8195e.pdf>.
4. Polupan, M. I., Velychko, V. A. and Solovei, V. B. (2015), *Rozvytok ukrainskoho ahronomichnoho gruntoznavstva: henetychni ta vyrobnychi aspekty* [Development of Ukrainian Agronomy Soil Science: Genetic and Production Aspects], Ahrarna nauka, Kyiv, 400 p. Ukraine.
5. Schiefer, J., Lair, G. J. and Blum, W. E. H. (2016), Potential and limits of land and soil for sustainable intensification of European agriculture. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, vol. 230, pp. 283–293. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.06.021>.
6. Schiefer, J., Lair, G. J. and Blum, W. E. H. (2015), Indicators for the definition of land quality as a basis for the sustainable intensification of agricultural production. *International Soil and Water Conservation Research*, vol. 3, pp. 42–49. <http://dx.doi.org/10.1016/j.iswcr.2015.03.003>.
7. Schiefer, J., Lair, G. J., Luthgens, C., Wild, E. M., Steier, P. and Blum, W. E. H. (2018), The increase of soil organic carbon as proposed by the "4/1000 initiative" is strongly limited by the status of soil development – A case study along a substrate age gradient in Central Europe. *Science of the Total Environment*, vol. 628–629, pp. 840–847. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.008>.
8. Sustainable Intensification of Agriculture (2018), URL: <http://www.fao.org/policy-support/policy-themes/sustainable-intensification-agriculture/en/>.
9. Yakist ґruntu. Pokaznyky rodiuchosti ґruntiv. DSTU 4362:2004 (2005). Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 36 p.