

УДК 332.146.6 (447.9)

## МЕХАНИЗМЫ ОЦЕНКИ АССИМИЛЯЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ПОЧВ УКРАИНЫ

*Ярош О.Б.*

*Таврический национальный университет имени В.И. Вернадского, Симферополь, Республика Крым*

*E-mail: [yarosh.tnu@gmail.com](mailto:yarosh.tnu@gmail.com)*

Проведена оценка ассимиляционного потенциала (АП) почв Украины. Разработана экономико-математическая модель распределения весовых коэффициентов между компонентами АП. Произведена дифференциация территорий страны по ассимиляционной емкости почвенного покрова. Выявлены критические пороги и определены механизмы для оценки антропогенного воздействия. Полученные результаты можно применять для разработки дифференцированных норм по выбросам тяжелых металлов для сельского хозяйства Украины.

**Ключевые слова:** ассимиляционный потенциал, почвы, сельское хозяйство, тяжелые металлы.

### ВВЕДЕНИЕ

Сохранение ассимиляционного потенциала (АП) природной среды является наиболее проблемной задачей экономики природопользования. Очевидным является тот факт, что данный ресурс является непростым для экономической оценки, что объясняется сложностью его количественного измерения. Поэтому необходимо исследование ассимиляционных способностей почв Украины, что позволит в дальнейшем определять перспективные направления для развития органического сельского хозяйства в разрезе регионов страны.

**Целью** данной статьи является разработка методов для оценки ассимиляционного потенциала почв Украины.

### ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ

Земельный фонд Украины является самым большим в Европе, общей площадью 60,4 млн. га. Структура сельскохозяйственных угодий характеризуется очень высоким индексом освоения территории, что значительно превышает экологически обоснованные нормы [3]. Значение АП для общества заключается в том, что можно экономить на других природных ресурсах, это отмечается в работах А.А. Гусева [1], где указывается, что экономическое значение ассимиляционного потенциала заключается в возможности экономить на природоохранных затратах. Полагаем, что речь должна идти не об экономии экологических затрат и продаже ассимиляционного потенциала, а о понимании того факта, что ассимиляционная емкость природной среды в большинстве регионов Украины уже превышена [2]. Это приводит к резкому возрастанию затрат на восстановление АП и опосредованно повышает стоимость других природных ресурсов. Социально-экономическая оценка в данном случае должна касаться расчета запредельных антропогенных нагрузок.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

### I. Оценка скоростей ассимиляционных процессов

Сохранение ассимиляционного потенциала невозможно без его социально-экономической оценки [4]. Очевидно, что вклад компонентов ассимиляционного потенциала: воздуха, воды и почвы – разный. Это связано с различием в скоростях ассимиляции загрязнений в разных видах природной среды. В рамках этих допущений мы предлагаем следующую модель по распределению весовых коэффициентов между компонентами ассимиляционного потенциала. Введем весовые коэффициенты воды  $\omega_{вода}$ , воздуха  $\omega_{воздух}$  и почвы  $\omega_{почва}$  так, чтобы

$$\omega_{вода} + \omega_{воздух} + \omega_{почва} = 1 \quad , \quad (1)$$

а также используем дополнительные условия, предполагая, что

$$\frac{\omega_{почва}}{\omega_{вода}} = \frac{\omega_{вода}}{\omega_{воздух}} = \alpha \quad (2)$$

и

$$\frac{\omega_{почва}}{\omega_{воздух}} = 2\alpha, \quad (3)$$

где  $\alpha > 1$ , поскольку ассимиляция загрязнений в воде происходит медленней, чем в воздухе, а также в почве медленней, чем в воде. Пусть  $\alpha = 2$ . Решим систему из уравнений (1-3) для трех неизвестных, определив тем самым искомые весовые коэффициенты. Разделим (1) на  $\omega_{воздух}$  и получим (4):

$$\frac{\omega_{воздух} + \omega_{вода} + \omega_{почва}}{\omega_{воздух}} = 1 + \alpha + 2\alpha = \frac{1}{\omega_{воздух}}. \quad (4)$$

Из уравнений (2) и (1) находим, что весовые коэффициенты составляющих ассимиляционного потенциала имеют следующий вид:

$$\omega_{воздух} = \frac{1}{1+3\alpha} = \frac{1}{7}, \quad (5)$$

$$\omega_{вода} = \frac{\alpha}{1+3\alpha} = \frac{2}{7}, \quad (6)$$

$$\omega_{почва} = \frac{2\alpha}{1+3\alpha} = \frac{4}{7}. \quad (7)$$

Таким образом, вклад различных компонентов (воды, воздуха и почвы) в ассимиляционный потенциал является неодинаковым. Благодаря их весам можно установить причинно-следственные зависимости, влияющие на скорость ассимиляции загрязнений в разных компонентах природной среды. Медленней всего скорости ассимиляции загрязнений идут в почве, самые быстрые – в воздухе за счет обменных процессов круговорота вещества. Данные выводы подтверждают работы А.А. Кокина [5, С.88], где отмечается, «... что медленнее восстанавливается структура и функции биотопов, биоценозов и экосистем при условии, что процессы

замедления их функций под влиянием хозяйственной деятельности человека не превысили порога способности к воспроизводству. Практически не могут быть восстановлены утраченные ландшафты с присущими им биотопами, биоценозами, экосистемами. На смену им в новой структурно-морфологической и экологической нише будут развиваться новые биотопы, биоценозы и экосистемы устойчивые в новых средах и не развивавшиеся в прежних условиях». Например, уменьшение содержания гумуса в почве из-за несбалансированного земледелия приводит к преобладанию медленных процессов воспроизводства почвы, уменьшает скорости разложения тяжелых металлов.

В результате, нетрудно прийти к заключению о том, что из-за хозяйственной деятельности, общество меняет структуру течения обменных процессов в биосфере, но оно не может влиять на их скорости.

## II. Оценка ассимиляционного потенциала почв

Данный вопрос является наиболее сложным для количественной оценки. Это связано с тем, что в почву попадает огромное количество различных токсичных веществ и скорости ассимиляции у всех разные. Поэтому комплексного аппарата количественной оценки этого вида ассимиляционной емкости в научных исследованиях пока не предложено. Спектр загрязнения почвы слишком широк: от органических соединений до твердых бытовых отходов [6]. Поэтому в рамках предлагаемого механизма предусматривается анализировать самые значительные загрязнители почв — тяжелые металлы в рамках геохимического круговорота тяжелых элементов. Это объясняется тем, что они имеют значительное влияние на биогеохимические процессы в биосфере, поскольку напрямую влияют за счет выраженного токсического действия на живые организмы. Именно этим объясняется их выбор в рамках социально-экономического анализа. Согласно исследованиям [6] известно, что тяжелые металлы ранжируются по токсичному действию:

- с очень высоким потенциалом загрязнения - свинец, ртуть, кадмий и хром;
- с высоким потенциалом загрязнения - висмут, уран, молибден, барий, марганец, титан, железо, селен, теллур;
- со средним потенциалом загрязнения к ним относятся: фтор, бериллий, ванадий, рубидий, никель, кобальт, мышьяк, германий, индий, цезий, вольфрам;
- со слабым потенциалом загрязнения - стронций, цирконий, лантан, ниобий.

Среди перечисленного выше блока тяжелых металлов самыми токсичными являются элементы первой группы. Поскольку увеличение их концентрации является значимым показателем опасности для здоровья человека. Поэтому данное исследование ведется с учетом способности почв ассимилировать именно эти элементы. При этом оценка ассимиляции идет, исходя из предпосылки не о скорости их разложения, а путем выявления возможностей перевода данных токсичных элементов в инертное состояние в почвенной среде.

Почвенная оболочка биосферы - педосфера является одним из основных компонентов, где происходит локализация химических элементов, сбрасываемых в результате антропогенной деятельности.

Доступность тяжелых металлов для растений зависит от их вида, а также почвенных и климатических условий. У каждого вида растений концентрации тяжелых металлов могут варьироваться в различных его частях. Наибольшее количество тяжелых металлов накапливается в корнях и листьях, поэтому на загрязненных территориях нельзя выращивать листовые овощи и корнеплоды [7].

Исследование рисков загрязнения почвенно-растительных систем тяжелыми металлами подробно приведено в работе И.В. Ефремова [4], где показано, что существенно влияет на доступность тяжелых металлов для растений ее гранулометрический состав, реакция среды почвы рН, содержание гумуса, катионообменная способность и дренаж. Таким образом, в данном анализе мы полагаем, что способность почв ассимилировать загрязнения напрямую зависит от основных критериев: рН среды и наличия гумуса. Так, агрохимические исследования [14] показывают:

- если почва имеет рН от 4,0-6,0, то она является кислой, а при возрастании кислотности в почве труднорастворимые соединения переходят в более подвижные формы, при этом повышается активность многих тяжелых металлов;
- если почва имеет рН от 7,5-8, то она является щелочной и в ней образуются труднорастворимые соединения: гидроксиды, сульфиды, фосфаты, карбонаты и оксалаты тяжелых металлов, то есть ассимиляционная способность ее крайне низка.

Второй показатель — наличие гумуса. Здесь присутствует следующая зависимость: учитывая то, что тяжелые металлы могут образовывать сложные комплексные соединения с органическим веществом почвы в кислой среде, то становится очевидным, что при высоком содержании гумуса, тяжелые металлы менее доступны для растений в нейтральной и слабощелочной среде почвенного раствора [9]. В результате можно сделать вывод о том, что ассимиляционный потенциал больше у почв с высоким содержанием гумуса и рН средой не ниже 6,5 и не выше 7,5, то есть нейтральной. Обратимся к анализу почв Украины для определения областей с наиболее «уязвимым» природным ассимиляционным потенциалом. Согласно исследованиям НАН Украины около 1/10 посевных земель сосредоточено в зоне Полесья, приблизительно 2/5 в Лесостепной зоне Украины и половина в Степной зоне. Известно, что почвенный покров Украины насчитывает 650 видов почв. Согласно почвенным картам и данным по распределению типов почв по регионам Украины [3] преобладают черноземы обыкновенные — 9 млн. га, черноземы типовые — 7,2 млн. га, черноземы южные — 3,2 млн. га, дерново—оподзолистые и темно-серые лесные почвы — 3,2 млн. га, дерново-подзолистые — 1,4 млн. га и темно-каштановые почвы — 1,2 млн. га. Исследование почвенных карт Украины позволяет выделить преобладающие типы почв по областям. В Полесье преобладают дерново-подзолистые почвы, которые занимают 55% территории, остальные виды почвенного покрова имеют второстепенное значение: из них лугово-болотные с находятся на 13% территории, торфяно-болотные почвы соответственно на 12%, серые лесные на 6%, дерново-подзолистые оглеенные и дерново-карбонатные занимают только 2% территории. В границах Лесостепи

преобладают серые лесные почвы – около 45% от территории и черноземы- 40% , дерново-подзолистые — всего 3 %. В Степной зоне три четверти территории заняты черноземами, среди которых преобладают мало и среднегумусные. Темно-каштановые почвы распространены на 10% территории Степной зоны, солончаки — 1,5%. В Карпатах основными почвами являются разные подтипы бурых горных, которые занимают 50-60% территории соответствующих зон. Исходя из данных по рН среде почв и содержания гумуса с учетом преобладающего вида почв мы можем выявить области с наиболее уязвимым ассимиляционным потенциалом. Анализ показывает, что потенциал почв ассимилировать тяжелые металлы Волынской, Закарпатской, Житомирской, Львовской, Ровенской является крайне низким. Почвы Хмельницкой, Черниговской, Киевской, Черновецкой, Ивано-Франковской обладают слабым ассимиляционным потенциалом. Остальные области в целом обладают средним и нормальным природным ассимиляционным потенциалом, кроме отдельных участков.

Вторым оценочным критерием является содержание гумуса (Табл. 1).

Таблица 1

Содержание гумуса в почвах различных зон Украины

Зоны	Содержание гумуса, %	Уменьшение гумуса, %
Полесье	2,18	0,04
Лесостепь	3,27	0,09
Степная зона	3,45	0,09

Приводится по данным: [3].

На протяжении последних 20 лет, прошедших с момента проведения почвенно-агрохимического мониторинга, среднее содержание гумуса снизилось по всем природным зонам Украины. Это связано с уменьшением внесения органических удобрений. В результате почвы становятся более уязвимыми для тяжелых металлов. В 1966 г. А.И. Перельман [9] в работе по геохимии почв выделил коэффициенты биологического поглощения или отношения содержания микроэлементов в золе растений к содержанию этого элемента в почве и разделил их на пять групп в зависимости от интенсивности ассимиляции элементами растениями (Табл.2).

Таблица 2.

Коэффициент биологического поглощения (ассимиляции)

Микроэлемент	КБП	Ряды биологического поглощения
P, S, Cl, I	$n \cdot 10^{-n} \cdot 10^{-2}$	Энергично накапливаемые элементы
K, Ca, Mg, Na, Zn, Ag	$n \cdot 10^0 - n \cdot 10^1$	Сильно накапливаемые
Mn, Ba, Cu, Ni, Co, Mo, As, Cd, Be, Hg, Se	$n \cdot 10^{-1} - n \cdot 10^0$	Среднего накопления
Fe, Si, F, V	$n \cdot 10^{-1}$	Слабого накопления
Ti, Cr, Pb, Al	$n \cdot 10^{-2} - n \cdot 10^{-1}$	Очень слабого накопления

Составлено по данным: [9,6,10]

При этом, самая высокая токсичность для растений выявлена [7] у ртути и кадмия. В исследованиях Р. Раута [10] доказано, что высокое содержание тяжелых металлов влияет на урожайность сельскохозяйственных культур, это связано со свойствами тяжелых металлов угнетать вегетативную и репродуктивную часть растений. (Табл.3).

Таблица 3.  
Зависимость между урожайностью и степенью загрязнения почвы тяжелыми металлами

Снижения урожая или его качества, %	Уровень загрязнения почвы
<5	Практически не загрязненные
6-10	Слабо загрязненные
11-25	Средне загрязненные
26-50	Сильно загрязненные
51-75	Очень сильно загрязненные
>75	Критически загрязненные

Составлено по данным: [12]

Таким образом, используя агрохимическую методику Р. Раута [10], можно оценить регионы с высоким загрязнением тяжелыми металлами в Украине. Исходной предпосылкой для анализа является понимание того факта, что ассимиляционный потенциал почв намного ниже в Западных областях страны [12]. Тем не менее, исследование урожайности зерновых и зернобобовых культур показывает интересные закономерности. Для данного анализа нами были выбраны годы с близким уровнем урожайности по стране и значительным временным лагом (Табл. 4.) [12].

Анализ урожайности зерновых и зернобобовых культур в Украине за 1990 г и 2011 г показывает, что уменьшение урожайности наблюдается в основном в промышленных регионах, где процент снижения качества и количества урожая проявляется в средне- и сильнозагрязненных тяжелыми металлами почвах. При этом, из анализа проведенного выше известно, что почвы Донецкой, Днепропетровской, Запорожской, Луганской областей имеют достаточно хороший ассимиляционный потенциал, заключающийся в высоком содержании гумуса и оптимальной рН среды. Это означает, что загрязнение тяжелыми металлами данных регионов превысило ассимиляционную емкость почв, перешло критический порог по нагрузкам на педосферу.

Оценка, проведенная для административно-территориальных единиц Украины, позволила ориентировочно дифференцировать данные территории по степени нарушенности и ассимиляционной емкости. Выявленные критические пороги в устойчивости почв занимают важное место для понимания антропогенного воздействия на почвенный покров. Описанные закономерности можно применять для разработки дифференцированных норм по выбросам тяжелых металлов.

Таблица 4

Исследование динамики урожайности зерновых и зернобобовых культур

Название региона	1990 г, ц/га	2011 г, ц/га	снижение/увеличение урожайности, %
1	2	3	4
АР Крым	36,3	31,9	-12,1
Винницкая	37	49,3	33,2
Волынская	32,2	29,7	-7,7
Днепропетровская	39,1	30,8	-21,2
Донецкая	37,8	29,5	-21,9
Житомирская	26,8	39,3	46,6
Закарпатская	47,7	37,6	-21,1
Запорожская	38,3	26	-32,1
Ивано-Франковская	34,6	39,6	14,4
Киевская	35,6	45,2	26,9
Кировоградская	39,1	40,9	4,6
Луганская	30,9	25,5	-17,4
Львовская	33,3	36,5	9,6
Николаевская	35,4	28,4	-19,7
Одесская	29,8	29,2	-2,0
Полтавская	41,2	51,6	25,2
Ровненская	30,6	32,6	6,5
Сумская	31,1	38,3	23,1
Тернопольская	32,5	41	26,1
Харьковская	37,9	37	-2,3
Херсонская	35	32,4	-7,4
Хмельницкая	32,4	40,3	24,3
Черкасская	38,8	57,3	47,6
Черновицкая	44,3	45,8	3,3
Черниговская	26,3	38,4	46,0

Рассчитано автором по данным: [12]

### III. Лимиты ассимиляционного потенциала

В современной практике хозяйствования в Украине имеет место открытый доступ к использованию данного ресурса. Однако лимиты ассимиляционного потенциала превышены, как показывают исследования, по основным компонентам (воде, почве и воздуху), а это говорит о том, что искажены показатели экономической эффективности хозяйственной деятельности, поскольку издержки основного производства не отражают стоимости его восстановления. Согласно результатам разработанной нами модели рассчитано, что дефицит ассимиляционного потенциала воздушной среды составляет 70% в год; по воде этот

показатель приближается к 50% в год, а по почве он на уровне 44% в год. Учитывая модель, приведенную в рамках данного анализа по распределению весовых коэффициентов компонентов ассимиляционного потенциала по соотношениям (3-5) нетрудно посчитать показатель, характеризующий общий дефицит АП по всем трем компонентам: воде, почве и воздуху (9).

$$(1/7*0.7 + 2/7*0.5 + 4/7*0.44)*100\% = 100/7*(0.7+2*0.5+4*0.44)\% = 49.4\% \quad (9)$$

В результате получается, что за 2 года идет двойная нагрузка, в результате со временем загрязнения будут расти не линейной зависимости, а по степенной, поскольку не ассимилированные загрязнения будут увеличивать нагрузку на каждый последующий год. Безусловно, при этом необходимо учитывать, тот факт, что будут включаться компенсаторные механизмы, из-за незамкнутости системы, а именно за счет трансграничного переноса загрязнений. При этом необходимо принять во внимание, что в водной среде и в воздухе они намного выше, почва же является менее подверженной данным процессам, поэтому если рассчитать нижнюю границу не ассимилированных загрязнений только по почве, то она составляет 25% в год. В рамках данного предположения можно ввести условие, что какая-то часть загрязнений почв, также будет выноситься за счет стока и трансграничного переноса, в этом случае величина накопления будет на уровне 10-20%, и даже эта цифра, будет вести со временем к тотальному, критическому состоянию экосистем Украины.

#### **IV. Выводы и перспективы развития ситуации**

Решение данной проблемы в рамках проведенного анализа в данной статье позволяет предложить институциональный механизм управления дефицитом ассимиляционного потенциала. Возможно несколько сценариев его реализации.

Во-первых, можно снижать темпы производства отходов и скорость экономического роста до уровня пока экосистема сможет сама ассимилировать загрязнения, в этом случае будет обеспечено нормальное качество среды для существования, но при этом следует забыть о «устойчивом» поступательном развитии экономики.

Второй сценарий подразумевает оставить небольшие темпы потребления природных ресурсов и снижать количество отходов за счет введения новых экологически чистых технологий производства. На этом варианте основаны механизмы действия Киотского протокола, однако необходимо понимать, что будет ограничен экономический рост только на определенное время и в будущем опять возникнет проблема недостатка ассимиляционной емкости природной среды.

Третий сценарий развития может быть основан на принципе баланса между темпами экономического роста и предельными нагрузками на экосистему [13]. Фактически это единственный вариант гармоничного развития. При этом основная сложность заключается в исследовании зависимости между темпами социально-



экономического роста и исчерпания природного капитала при учете ассимиляционной емкости окружающей среды.

#### Список литературы

1. Гусев А.А. Современные экономические проблемы природопользования / Гусев А.А.-М.: Международные отношения, 2004.-208 с.
2. Ефремов А.В. Природные ресурсы прибрежной зоны Крыма и их оценка / А.В. Ефремов.-Симферополь: ЧП «Носков А.В.», 2009.-508 с.
3. Розвиток України в умовах глобалізації та скорочення природо-ресурсного потенціалу /М. Коржнев, Ю.Р. Шеляг –Сосонко, М.М. Куріло.—К.: ЛОГОС, 2009.—195 с. 256
4. Ефремов И.В. Моделирование почвенно-растительных систем. / И.В. Ефремов.—М.: ЛКИ, 2008.—152 с.
5. Игнатов В.Г. Ассимиляционный потенциал природы как фактор устойчивого развития регионов/ В.Г. Игнатов, А.В. Кокин //Устойчивое развитие Юга России. - Ростов-на-Дону: СКАГС, 2003.С. 137-147.
6. Агрохимия / Под ред. Смирнова П.М., Петербургского А.В.— М.: Колос, 1975.—512 с.
7. Шумська С.С. Капіталізація економіки України: оцінка і резерви зростання / С.С. Шумська // Економічна теорія.—2004.—№3.—С. 60-79.
8. Медведев В.В. Мониторинг почв Украины. Концепция. Предварительные результаты. Задачи. / В. В. Медведев. – Харьков : Антиква, 2002. – 428 с.
9. Перельман А.И. Гидрохимия ландшафта / Перельман А.И. -М.: Мысль,1966.—С.89.
10. Rauta C Some aspects of soil pollution research in Romania / Rauta C, Carstea S. // Transaction of 13 Congress of Intern. Soc. Soil.—1986.—Vol 2 .—P.376-377.
11. Вітвіцька В.М. Еколого-економічні засади удосконалення земельних відносин в ринкових умовах (на прикладі Автономної Республіки Крим): автореф. дис... канд. екон. наук: 08.00.06 / Валентина Миколаївна Вітвіцька. — К., 2009. — 17 с.
12. Збір урожаю сільськогосподарських культур, плодів, ягід та винограду в регіонах України у 2011 р/ Статистичний бюлетень.—К.:Держкомстат, 2012.—136 с.
13. Игнатов В.Г. Сбалансированное природопользование / В.Г. Игнатов, А.В. Кокин, Л.А Батурин.-Ростов-на-Дону: Ростиздат, 1999.- С.45-56.
14. Орлов Д. С. Химия почв / Д. С. Орлов. – М., 1992. – 400 с.

*Статья поступила в редакцию 10. 11. 2014 г.*