

**БІОЕНЕРГЕТИЧНА ОЦІНКА СФЕРИ ПОВОДЖЕННЯ З ТВЕРДИМИ ВІДХОДАМИ
НА РЕГІОНАЛЬНОМУ РІВНІ**

Розроблено методику біоенергетичної оцінки сфери поводження з твердими відходами. Проведена біоенергетична оцінка існуючої сфери поводження з твердими відходами на прикладі Полтавської області, розроблені сценарії технічного переоснащення даної сфери та проведено їх порівняння з метою визначення найбільш ефективного еколого-економічного напрямку розвитку сфери поводження з твердими відходами регіону. Встановлено, що комплексна переробка та сортування разом із компостуванням є найменш енергоємними процесами для регіону.

Постановка проблеми

Проблеми утворення відходів і поводження з ними є надзвичайно гострими для України, обсяги накопичених відходів дозволяють віднести її до однієї з найбільш техногенно навантажених країн світу. Низький, часом примітивний, технологічний рівень виробництва ставить Україну на одне з перших місць в Європі із утворення і накопичення відходів. Еколого-економічні проблеми у сфері поводження з відходами починаються з неприпустимо низької ефективності використання природних ресурсів. З одного боку, природні ресурси використовують за екстенсивним принципом, що не відповідає принципам сталого розвитку і призводить до нераціонального використання мінеральних й сировинних запасів. З іншого боку, нераціональне використання ресурсів, застарілі технології й відсутність розвинутої сфери вторинної переробки сприяють утворенню великих обсягів твердих відходів (ТВ), зберігання яких потребує вилучення значних земельних ділянок, а також здійснює негативний вплив на стан здоров'я людей і якість навколишнього природного середовища.

Аналіз останніх досліджень

Серед досліджень, присвячених різним аспектам удосконалення системи управління сферою поводження з відходами та залучення їх у господарський обіг, необхідно виділити роботи С. М. Ілляшенка, Л. Г. Мельника, В. С. Міщенко, Н. О. Хижнякової, С. Г. Тяглова, Ф.В. Мікушова, Є. В. Рюміної, А. А. Голуба, Ю. М. Маковецької, В. М. Гарина, Н. Н. Бурцевої та ін. Але питання удосконалення системи регіонального управління сфери поводження з твердими відходами у рамках соціально-економічної політики за допомогою формування

ринкового механізму та його інститутів недостатньо пророблені. У той же час, потрібно враховувати, що обґрунтування інвестиційних вкладень у сферу поводження з ТВ повинно спиратися на еколого-економічну оцінку різних технологічних рішень у даній сфері з урахуванням соціальних аспектів. Головною перевагою енергетичної оцінки є можливість показати всі складові виробництва з використанням як первинної сировини, так і вторинної, в єдиних постійних величинах у певний проміжок часу. Тобто є потреба у проведенні еколого-енергетичної оцінки ефективності різних схем поводження з ТВ, з урахуванням регіональних особливостей, для визначення найбільш ресурсозберігаючих та економічно мотивованих екологічно безпечних систем.

Метою статті є дослідження та розробка методики біоенергетичної оцінки сфери поводження з твердими відходами й використання її для порівняння різних технологічних рішень у даній сфері на прикладі Полтавської області для підвищення еколого-економічної ефективності регіонального розвитку.

Об'єкт і методика досліджень

Об'єктом дослідження є сфера поводження з твердими відходами регіону. Теоретичною та методологічною основою дослідження є результати фундаментальних і прикладних досліджень у галузі економічної теорії та регіоналістики, положення концепції сталого розвитку, наукові розробки вітчизняних і зарубіжних учених із питань управління сферою поводження з ТВ. Методичною базою дослідження стали загальнонаукові економічні методи, у тому числі такі, як монографічний, порівняльний аналіз, абстрактно-логічний метод, картографічний та інші.

Результати досліджень

Одним з найпоширеніших показників енергетичної ефективності є енергоємність виробництва продукції, одна з основних факторів, що впливає на собівартість продукції і, зрештою, на конкурентоспроможність. Наразі використовується кілька видів оцінки енергоємності виробництва продукції, визначення та методи яких наведено відповідно до ДСТУ 3682-98 (повна оцінка) [2], ДСТУ 3740-98 (заводська наскрізна) [3], ГОСТ Р 51750 (технологічна) [4]. Методика визначення повної енергоємності продукції, робіт та послуг (ПРП) включає

$$e = e_E + e_m + e_\phi + e_{жп} + e_o, \quad (1)$$

де e_E – повна енергоємність енергоресурсів, необхідних для виробництва ПРП, включає витрати енергії на паливо (E_n) та на електроенергію (E_e); e_m – повна енергоємність вихідної продукції, сировини та матеріалів, необхідних для виробництва ПРП; e_ϕ – повна енергоємність основних виробничих фондів (ОВФ), амортизованих під час виробництва ПРП; $e_{жп}$ – енергозатрати живої

праці; e_o – повна енергоємність охорони навколишнього середовища від шкідливого впливу неперероблених (залишків) ТВ.

Враховуючи вищеприведені методики для порівняння енергоємності систем поводження з ТВ, пропонується виконувати оцінку енергоємності на кожному етапі життєвого циклу з використанням позначень формули (1):

1) збір відходів включає такі складові енергоємності:

$e_{м зб}$ приймаємо рівною 0, так як дана вартість закладена у продукції, а відходи є умовно «побічним продуктом»;

$e_{Е зб}$ теж приймаємо рівним 0, так як транспортування від місця утворення до місця збору, як правило, не потребує енергії;

$e_{ф зб}$ включає витрати на контейнери ($e_{ф зб-конт}$) та майданчики для їх встановлення ($e_{ф зб-майд}$);

якщо включено етап роздільного збору, необхідно зменшувати енергоємність даного етапу за рахунок вилучення ресурсоцінних фракцій ($-e_{м рф}$);

e_o на даному етапі рівна 0 [5].

Таким чином, загальне рівняння енергоємності на етапі збору відходів

$$e_{зб} = (e_{ф зб-конт} + e_{ф зб-майд}) - e_{м рф}; \quad (2)$$

2) транспортування відходів включає:

витрати енергії на пальне $E_{п тр}$ для транспортування відходів;

енергоємність транспортних засобів $E_{ез тр}$;

$e_{м тр}$ приймаємо рівною 0;

$e_{жп тр}$ включає працю водіїв, що транспортують відходи;

$e_o тр$ включає витрати на охорону навколишнього середовища від викидів від автотранспорту в атмосферу, тобто $e^{вук} тр$.

Таким чином, енергоємність етапу транспортування відходів включає

$$e_{тр} = E_{п тр} + E_{ез тр} + e_{жп тр} + e^{вук} тр; \quad (3)$$

3) сортування відходів включає:

витрати енергії на пальне та електроенергію для механічного сортування ($e_{Е сор} = E_{п сор} + E_{е сор}$) на сміттєперевантажувальній або сміттєсортувальній станції;

$e_{жп сор}$ при ручному сортуванні, а також обслуговуючого персоналу;

$e_{ф сор}$ включає енергоємність основних фондів ($e_{оф сор}$), засобів механізації для сортування ($E_{ез сор}$), зберігання вторсировини ($e_{зберіг}$);

$e_o сор$ фактично рівне нулю, так як невідсортовані залишки видаляються на полігоні, а відсортовані – ідуть на переробку [5];

зменшення енергоємності за рахунок вилучення вторинної сировини ($-e_{м рф}$).

Таким чином, енергоємність етапу сортування відходів включає

$$e_{сор} = (E_{п сор} + E_{е сор}) + (e_{оф сор} + E_{ез сор} + e_{зберіг}) + e_{жп сор} - e_{м рф}; \quad (4)$$

4) переробка відходів включає:

- витрати енергії на пальне та електроенергію для засобів механізації процесу ($e_{Е пер} = E_{п пер} + E_{е пер}$);

$e_{жп пер}$ енергоємність праці обслуговуючого персоналу;
 $e_{ф пер}$ включає енергоємність основних фондів ($e_{оф пер}$), засобів механізації ($E_{ез пер}$), процесу зберігання ($e_{зберіг}$);
 зменшення енергоємності за рахунок вилучення вторинної сировини та заміною нею вторинної ($-e_{м рф}$);

$e_{опер}$ залежить від технології переробки та отримання продукції, невідсортовані залишки видаляються на полігоні [5].

Таким чином, енергоємність етапу переробки відходів включає

$$e_{пер} = (E_{п пер} + E_{е пер}) + (e_{оф пер} + E_{ез пер} + e_{зберіг}) + e_{жп пер} - e_{м рф}; \quad (5)$$

5) спалювання відходів включає:

$e_{жп спал}$ енергоємність праці обслуговуючого персоналу;

$e_{о спал}$ включає $e^{вук}$, $e^{сток}$, $e^{зр}$ – відповідно, енергоємність очищення викидів, стічних вод та ґрунтів (якщо місце видалення золи і шлаку знаходиться на території сміттєспалювального заводу, якщо ні, то дані витрати енергії будуть належати полігону). При цьому $e^{вук}$, $e^{сток}$ визначаються за рівняннями, приведеними у [6].

Енергоємність відновлення ґрунтів при поводженні з ТВ визначається як сума витрат (енергоресурсів, матеріалоресурсів, людської праці тощо) на підтримання полігону ТВ (хвостосховища тощо) у стані, що відповідає санітарно-гігієнічним та екологічним нормам безпеки й на рекультивуацію території [7];

$e_{ф}$ енергоємність основних фондів сміттєспалювального заводу та засобів механізації ($e_{оф спал} + E_{ез спал}$);

витрати енергії на паливо та електроенергію для процесу спалювання ($e_{Еспал} = E_{п спал} + E_{е спал}$);

зменшення енергоємності за рахунок отримання енергії від процесу спалювання ($-e_{м енер}$).

Енергоємність етапу спалювання відходів включає

$$e_{спал} = (E_{п спал} + E_{е спал}) + (e_{оф спал} + E_{ез спал}) + e_{жп спал} - e_{м енер} + (e^{вук} + e^{сток}), \quad (7)$$

6) компостування відходів включає:

$e_{жп комп}$ енергоємність праці обслуговуючого персоналу;

$e_{ф комп}$ енергоємність основних фондів ($e_{оф комп}$), засобів механізації ($E_{ез комп}$), зберігання ($e_{зберіг}$) та мікроорганізмів (культур для процесу) - $e_{мікр}$;

витрати енергії на паливо та електроенергію для процесу компостування ($e_{Екомп} = E_{п комп} + E_{е комп}$);

зменшення енергоємності за рахунок отримання енергії компосту і використання його у якості добрива ($-e_{м комп}$);

$e_{о спал}$ фактично можна прийняти 0 [5].

Енергоємність етапу компостування включає такі складові:

$$e_{комп} = (E_{п комп} + E_{е комп}) + (e_{оф комп} + E_{ез комп} + e_{зберіг} + e_{мікр}) + e_{жп комп} - e_{м комп}; \quad (8)$$

7) видалення відходів включає:

$e_{жп\ видал}$ енергоємність праці обслуговуючого персоналу;

$e_{ф\ видал}$ включає енергоємність основних фондів полігону ($e_{оф\ видал}$), засобів механізації для обслуговування полігону ($E_{ез\ видал}$);

витрати енергії на пальне (для машин) та електроенергії (для господарської зони) процесу видалення ТВ ($e_{E\ видал} = E_{п\ видал} + E_{е\ видал}$);

зменшення енергоємності за рахунок отримання енергії біогазу ($- e_{м\ енер}$) та відібраних ресурсоцінних фракцій (якщо даний процес наявний – ($-e_{м\ рф}$);

$e_{о\ спал}$ включає викиди забруднюючих речовин у атмосферу ($e^{вук}$), скиди фільтрату у ґрунтові води ($e^{сток}$) й енергоємність рекультивациі та енергоємність відновлення ґрунтів при виділенні ТВ ($e^{зп}$).

Отже, енергоємність етапу санкціонованого видалення ТВ включає

$$e_{\text{видал}} = (E_{п\ \text{видал}} + E_{е\ \text{видал}}) + (e_{оф\ \text{видал}} + E_{ез\ \text{видал}}) + e_{жп\ \text{видал}} - (e_{м\ рф} + e_{м\ \text{енер}}) + (e^{вук} + e^{сток} + e^{зп}). \quad (9)$$

Енергоємність несанкціонованого видалення включає етап ліквідації наслідків даного процесу:

$$e_{\text{несан\ видал}} = E_{п\ \text{видал}} + E_{ез\ \text{ліквід}} + e_{е\ \text{рекул+ліквідації}} + e_{жп\ \text{ліквідації}} + (e^{вук} + e^{сток}). \quad (10)$$

Використання вищенаведених рівнянь дає можливість оцінити енергоємність на різних етапах життєвого циклу ТВ. Це надасть можливість оцінити за даним показником різні сценарії розвитку даної сфери на регіональному чи місцевому рівні. Алгоритм оцінки енергоємності сфери поводження з ТВ для прийняття рішень у даній сфері наведений на рис. 1.

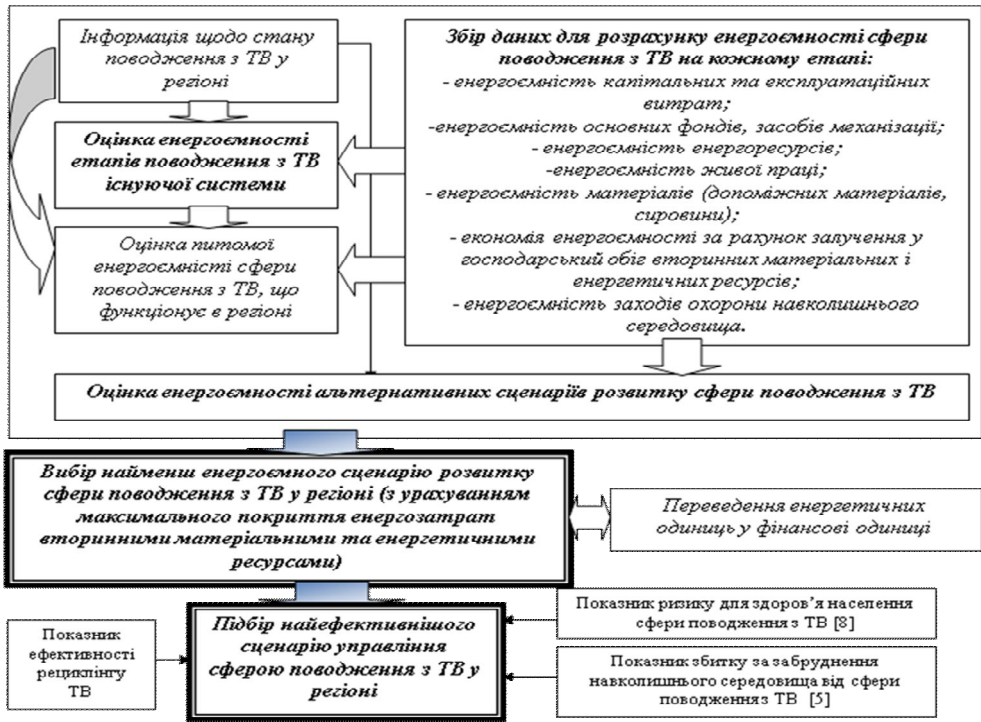


Рис. 1. Алгоритм оцінки енергоємності сфери поводження з ТВ на регіональному рівні

Джерело: власні дослідження.

У Полтавській області проблеми ТВ як на регіональному, так і на місцевому рівнях є одними із неоднозначних і складних для вирішення з екологічної та соціально-економічної точки зору. У Полтавській області щорічно утворюється близько 480 тис. т (1,6 млн м³) твердих побутових відходів, які видаляються на 377 санкціонованих полігонах й звалищах ТВ площею 460,2 га, та 4,5 млн т промислових відходів (з яких 200 тис. т – небезпечні відходи). Спостерігається тенденція до збільшення обсягів щорічного утворення як промислових, у тому числі і небезпечних, так і побутових відходів. Так, якщо у 2000 р. відходи, що утворюються у Полтавській області, становили 1,5 % від загального обсягу, який утворюється в Україні, то у 2011 р. – 8,5 %, відповідно. Зростає обсяг накопичених відходів у місцях організованого та неорганізованого складування. Так, станом на 1.01.2012 р. в області накопичено понад 15 млн т промислових та 20 млн т побутових відходів [9]. Ситуація щодо використання ресурсоцінних відходів у Полтавській області залишається незадовільною. Порівняно із 2010

роком, у 2012 році значно зменшився обсяг утворення вторинної сировини (на 32 %) та її використання [10].

Результати розрахунків питомої енергоємності (МДж/т) на різних етапах поводження з ТВ приведені у табл. 1.

Таблиця 1. Питома енергоємність різних етапів (технологій) поводження з ТВ (МДж/1т відходів)

Процес	Питома капітальні вкладення, Мдж/1т	Питома експлуатаційні вкладення, Мдж/1т	Енергоємність живої праці, Мдж/1т	Витрати на паливе та електроенергію, Мдж/1т	Енергоємність основних фондів (включаючи засоби механізації), Мдж/1т	Енергоємність заходів з охорони навколишнього середовища,	Економія енергії за рахунок повернення у господарський обіг матеріальних та енергетичних ресурсів, Мдж/1т	Загальна енергоємність процесу, Мдж/1т
Збір	60,2	8,0	2,1	-	58,0	0*	0-унітарний 100-роздільний	61,1 -38,9
Транспортування	112,5	35,1	7,2	40	98,0	0*	0 100(СПС)**	146,2 46,2
Сортування	125,0	9,1	7,5	15,8	112,1	0*	200,0	-63,6
Видалення на полігоні	117,5	79,5	5,1	25	101,2	62,5	25,0	168,8
Спалювання	700,0	59,0	7,2	58	650	81,0	65,0	631,1
Компостування	225,0	35,0	6,5	30	250	0	350,0	-60,5
Сортування+ компостування	250,0	21,8	12,5	50	350	0**	500,0	-82,5
Сортування+ спалювання	825,0	40,0	15,5	65	700	55,0	265,0	570,5
Комплексна переробка	600,0	33,7	9,1	27	500	0**	613,0	-84,9

Примітка: * – 0 МДж на 1 тону відходів прийнятий умовно для операцій, які здійснюють мінімальний (незначний або відсутні дані щодо значень даного впливу) вплив на довкілля [8];

** – сміттєперевантажувальна станція.

Джерело: власні дослідження.

Використання отриманих даних дає можливість оцінити енергоємність існуючої системи поводження з ТВ (на прикладі Полтавської області) (рис. 2). та енергоємність альтернативних сценаріїв розвитку даної сфери за показником енергоємності (табл. 2).

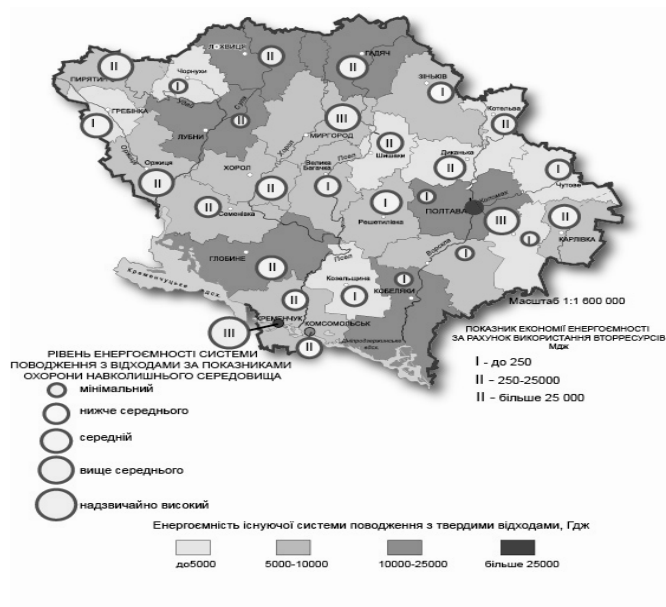


Рис. 2. Енергосмність існуючої системи поводження з ТВ за адміністративними районами Полтавської області, 2012 р.

Джерело: власні дослідження.

Таблиця 2. Оцінка енергосмності сценаріїв розвитку сфери поводження з ТВ (на прикладі Полтавської області)

Сценарій розвитку	e_f Мдж/ 1 т	$e_{жп}$ Мдж/1 т	e_E Мдж/1 т	e_m -економія за рахунок вторресурсів Мдж/1 т	e_o Мдж/ 1 т	$e_{зальне}$ Мдж/1 т	$e_{зальне}$ грн./т	$e_{зальне}$ (всього регіону) ГДж*10 ³
1) Існуючий стан	520,0	14,4	65,0	25,0	324,5	898,9	35,9	359,5
2) 7 регіональних полігонів (2 – потужністю 200 тис.т, 5 – потужністю 50 тис. т)	457,2	14,4	65,0	50,0	75,5	562,1	22,5	224,8
3) 4 сміттєпереробні заводи, 7 полігонів по 50 тис. т	369,3	21,9	80,8	225,0	62,5	309,5	12,3	123,8
4) 2 сміттєспалювальні заводи, 7 полігонів потужністю по 50 тис. т	907,2	21,6	123,0	50,0	81,0	1082,8	43,3	433,1
5) 2 установки по біокомпостуванню, 7 полігонів потужністю по 50 тис. т	507,2	20,9	95,0	375,0	62,5	310,1	12,4	124,0

Джерело: власні дослідження.

Таким чином, можна зробити висновок, що найбільш енергоємним процесом у сфері поводження з ТВ є спалювання відходів (631,1 МДж на 1 т відходів), і навіть обладнання процесу спалювання попереднім сортуванням (вилучення ресурсоцінних фракцій, у даному випадку металів, поліетиленів та скла) дає можливість зменшити дану енергоємність лише на 60,6 МДж/т. Найменш енергоємними є комплексна переробка та сортування разом із компостуванням (повне покриття енергоємності за рахунок отриманої вторсировини, причому, додатково одержується енергія у розмірі 84,9 та 82,5 МДж/т, відповідно).

Висновки та перспективи подальших досліджень

Встановлено, що енергоємність процесу збору та транспортування залежить від організації процесу, зокрема, наявності роздільного збору (покриття енергоємності за рахунок вилучення ресурсоцінних фракцій) та сміттєперевантажувальних станцій (зменшення витрат палива та вилучення ресурсоцінних фракцій). Переведення енергетичних одиниць у грошові показало, що із врахуванням витрат на охорону навколишнього середовища існуючий стан сфери поводження з ТВ у 1,5 раза більш енергозатратний, ніж при організації регіональних полігонів ТВ у області, у 3 рази – ніж при організації сміттєпереробних комплексів чи заводів із компостування, але менш енергозатратний, порівняно із введенням спалювальних установок.

Література

-
1. Поводження з відходами Полтавщини / *Голік Ю. С., Ілляш О. Е., Самойлік М. С.* та ін.//.– Полтава: Полтавський літератор, 2009. – 291 с.
 2. ДСТУ 3682–98 (ГОСТ 30583–98). Енергозбереження. Методика визначення повної енергоємності продукції, робіт та послуг. – К.: Держстандарт України, 1998. – 11 с.
 3. ДСТУ 3740–98. Енергозбереження. Методи аналізу та розрахунку зниження витрат палива та енергії на металургійних підприємствах. – К.: Держстандарт України, 1999. – 33 с.
 4. ГОСТ Р 51750. Энергосбережение. Методика определения энергоёмкости при производстве продукции и оказании услуг в технологических энергетических системах. Общие положения. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2001. – 27 с.
 5. *Писаренко П. В.* Еколого-економічна оцінка впливу полігонів і звалищ твердих побутових відходів на сталий розвиток регіону / *П. В. Писаренко, М. С. Самойлік* // Вісник Полтавської державної аграрної академії. – 2009. – № 4. – С. 15–23.
 6. *Станиціна В. В.* Енергоємність заходів з охорони навколишнього середовища як складова повної енергоємності продукції / *Станиціна В. В.* // Проблеми загальної енергетики. – 2011. – Вип. 4 (27). – С. 48–52.

7. *Самойлік М. С.* Еколого-економічна оцінка забруднення навколишнього середовища в системі екологічно безпечного розвитку регіонів України: монографія. / М. С. Самойлік, С. В. Онищенко // – Полтава: ПолтНТУ, 2012 – 269 с.

8. *Самойлік М. С.* Оцінка ризику здоров'ю населення у сфері поводження з твердими відходами на регіональному рівні // Еколого-правові та економічні аспекти екологічної безпеки регіонів: Зб. VIII Міжнарод. наук.-практ. конф. – 2013. – С. 166–171.

9. *Онищенко В. О.* Регіональна програма охорони довкілля, раціонального використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки з урахуванням регіональних пріоритетів Полтавської області / *В. О. Онищенко, Ю. С. Голік, О. Е. Ілляш та ін.*//. – Полтава: Полтавський літератор, 2012. – 164 с.
