

ЗМІНА РОДЮЧОСТІ ТЕХНОЗЕМІВ ЗА ТРИВАЛОГО СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОГО ВИКОРИСТАННЯ РЕКУЛЬТИВОВАНОГО ЗАЛІЗОРУДНОГО ШЛАМОСХОВИЩА В УМОВАХ СТЕПУ УКРАЇНИ

Є. О. БУРЯК, аспірант кафедри ґрунтознавства та охорони ґрунтів ім. проф. М. К. Шичули

E-mail: yevhenburiak@ukr.net

<https://orcid.org/0000-0003-2747-4145>

В. О. ЗАБАЛУЄВ, професор кафедри ґрунтознавства та охорони ґрунтів ім. проф. М. К. Шичули

E-mail: viaza@ukr.net

Національний університет біоресурсів та природокористування України

Анотація. Винятковою особливістю екологічного стану України є те, що екологічно гострі локальні ситуації поглиблюються великими регіональними кризами. Головними причинами, що призвели до загрожуючого стану довкілля, є застаріла технологія виробництва та обладнання, висока енергомісткість та матеріаломісткість, що перевищують у два - три рази відповідні показники розвинутих країн, а також високий рівень концентрації промислових об'єктів Сховища відходів збагачення залізної руди у Криворізькому промисловому регіону є екологічно небезпечними техногенними об'єктами, під які відведено понад 7,5 тис. га земель. Згідно ст. 14 Конституції України земля є основним національним багатством. Широкі можливості сучасної науки і техніки висунули на передній план нові можливості ефективного використання земель. За умови рекультивації їх з успіхом можливо використовувати для агровиробництва. Рекультивація порушених земель передбачена Земельним кодексом (ст. 166) та Законом "Про охорону земель" (ст. 52). Рекультивація земельних ділянок здійснюється шляхом пошарового нанесення на малопродуктивні земельні ділянки або ділянки без ґрунтового покриву знятої ґрунтової маси, а в разі потреби - і материнської породи в порядку, який забезпечує найбільшу продуктивність рекультивованих земель.

Сформовані на рекультивованих землях агроєкосистеми в даний час переважно не відзначаються екологічною стійкістю та високою продуктивністю агрофіто-ценозів. За результатами 38-річних досліджень в стаціонарному досліді встановлено, що для сільськогосподарської рекультивації залізорудного

шлamosховища найбільш раціональною моделлю технозему є тричленна едафічна конструкція: шлам спочатку перекривається 50-см прошарком з лесоподібного суглинку, на який укладають 50 см шар гумусованої маси чорнозему звичайного. Такий варіант забезпечує продуктивність сільськогосподарських культур на рівні не порушених ґрунтів. За період використання показники гумусонакопичення дещо збільшились у орному шарі, валові запаси і вміст макроелементів практично не змінилися, якість техноземного ґрунту не погіршилась.

Ключові слова: шлamosховище, рекультивация, технозем, гумус.

Актуальність.

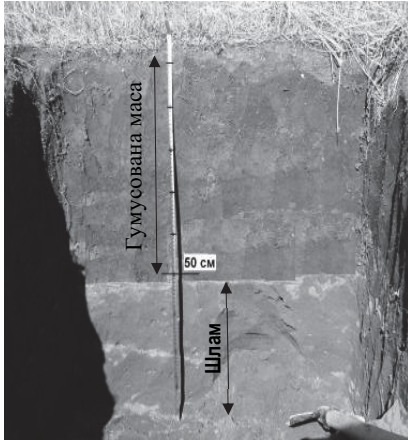
Складування відходів збагачення залізної руди (шламів) потребує виведення з господарського обігу значних земельних площ. Лише в Криворізькому залізорудному басейні під шлamosховища відведено понад 7,5 тис. га земель. Окрім того, шлamosховища є екологічно небезпечними об'єктами, які негативно впливають на довкілля, забруднюючи атмосферу і ґрунтові води, підтоплюючи навколишні угіддя. Тому дослідження раціональних варіантів їх консервації й рекультивации є актуальною проблемою для Криворізького гірничорудного регіону.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

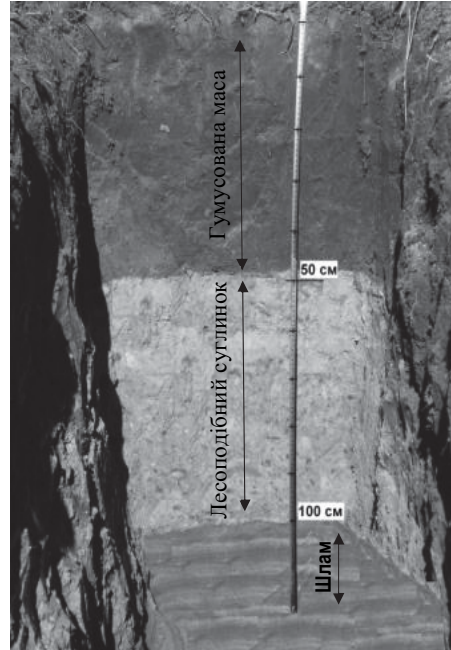
Незважаючи на те, що гірничодобувна промисловість розглядається як найважливіша економічна діяльність у всьому світі, вона має суттєвий негативний вплив на навколишнє середовище. Завдяки своїй природі відкритий видобуток неминуче призводить до серйозної деградації екологічних та естетичних цінностей ландшафту. (Kuter. N., 2013). Екологічні проблеми, пов'язані з видобуванням корисних копалин, завдали шкоди значній світовій економічній цінності галузі. Зокрема, гірничодобувна промисловість

має негативну спадщину забруднених земель. Отже, ефективна рекультивация забрудненого ґрунту необхідна до того, як колишні шахтні землі можуть бути надалі розроблені для житлових та комерційних цілей (Le et all., 2017). Було розроблено ряд меліоративних методів для повернення земель, які добували корисні копалини, до деякого продуктивного стану (Kozhevnikov & Zaushintseva, 2015; Legwaila et all, 2015). Попередніми дослідженнями з рекультивации заповнених залізорудних шлamosховищ (Забалуєв, 1992, 2005, 2011; Бекаревич, Забалуєв, 1996) була доведена перспективність їх сільськогосподарського використання. Встановлено (Забалуєв, 2011), що шлами мають слаболужну реакцію, характеризуються відсутністю гумусу і доступних рослинам біофільних елементів, незадовільними властивостями, низькою зв'язністю, легкою дефляційною здатністю. Всі ці негативні властивості унеможливають використання шламів у якості субстратів для формування техноземів для вирощування сільськогосподарських культур.

Коротка характеристика об'єкту мета дослідження. Вивчення раціональних моделей техноземів для сільськогосподарської рекультивации залізорудних шлamosховищ про-



А



Б

Рис. 1 Будова моделей техноземів для рекультивованого шламосховища:

А – двочленна (на шлам нанесено 50 см шар гумусованої ґрунтової маси
Б- тричленна (шлам перекритий 50 см прошарком лесоподібного суглинку, на який нанесено 50 см шар гумусованої ґрунтової маси

водиться на території агрофірми „Красний забойщик” Криворізького району Дніпропетровської області. З огляду на те, що залізорудний шлам є неродючим субстратом із несприятливими водно-фізичними й агрохімічними властивостями (Забалуєв, 2005), поверхню заповненого шламосховища покривають шаром родючого або потенційно родючого геосубстрату, формуючи штучні едафічні конструкції – техноземи. Важливим ґрунтознавчим і агрономічним питанням є встановлення змін едафічних характеристик техноземів різних конструкцій, які відбулись упродовж їхнього тривалого сільськогосподарського використання.

На заповненій частині шламосховища Північного гірничо-збагачувального комбінату упродовж 1980 – 1982 рр. було створено дослідне поле площею 5 га із шістьма конструкціями техноземів. У статті досліджували лише дві моделі техноземів, будова яких наведена на рисунку 1.

Матеріали і методи дослідження.

У дослідженні використовували загальноприйняті методи й методики. Аналізи досліджуваних субстратів проводили згідно з діючими методиками: загальний азот – за ДСТУ ISO 11261-2001 (3); рухомий фосфор – за

ДСТУ 4114-2002 (4); обмінний калій – за ДСТУ 4405 : 2005 (5); гумус – за методом Тюріна в модифікації ЦІ-НАО (ГОСТ 26213-84) (6).

Протягом 1982-2020 рр. на дослідному полі вирощували типові для Степу України сільськогосподарські культури у 8-пільній сівозміні з таким чергуванням: люцерна 2 роки – озима пшениця – кукурудза на зерно – кукурудза на силос – озима пшениця – кукурудза на зерно – ячмінь із підсівом люцерни. Технології вирощування сільськогосподарських культур – загальноприйняті для Степової зони. За ротацію сівозміні вносили 40 т гною ВРХ (під кукурудзу на силос) і мінеральні добрива загальною нормою $N_{580} P_{640} K_{420}$. Статистичну достовірність експериментальних даних визначали за допомогою дисперсійного аналізу (Доспехов, 1985).

Результати досліджень та їх обговорення.

Аналізуючи агрохімічні показники в моделі технозему з покриттям шламу гумусованим шаром 50 см чорнозему (табл. 1), можна констатувати, що за 38-річний період сільсько-

господарського використання спостерігається незначне накопичення рухомих форм фосфору та обмінного калію у верхньому шарі ґрунту (0-10 см). Нижче за профілем прослідковується зниження вмісту цих елементів. Вміст загального азоту у верхньому шарі (0-10 см) залишився на тому ж рівні, а в шарі 10-30 см зафіксовано незначне збільшення. У нижніх шарах ґрунтової маси (30-50 см) змін не зафіксовано. У шламі загальний азот відсутній, а вміст рухомого фосфору й обмінного калію був у 25–30 разів меншим у порівнянні з гумусованою масою ґрунту й за період досліджень практично не змінився.

У тричленній моделі технозему з покриттям шламу 50 см прошарком лесоподібного суглинку та 50 см шаром родючої ґрунтової суміші (табл. 2) у верхньому гумусовому шарі ґрунтової маси 0–50 см спостерігається незначне накопичення рухомого фосфору та обмінного калію, однак змін у вмісті загального азоту не зафіксовано. Уміст досліджуваних елементів живлення рослин у товщі лесоподібних суглинків (на глибині 50-100 см) практично не змінювався за весь період дослідження.

1. Зміни вмісту макроелементів у двочленній моделі технозему за тривалого сільськогосподарського використання рекультивованого шламосховища

Глибина, см	Загальний азот, %		Рухомий фосфор, мг/кг		Обмінний калій, мг/кг	
	1982 р.	2020р.	1982 р.	2020р.	1982 р.	2020р.
0-10	0,14±0,07	0,14±0,06	20,0±1,00	20,2±1,01	104,0±4,75	103,1±4,70
10-20	0,15±0,01	0,17±0,02	20,3±1,01	20,1±1,00	100,0±4,90	99,8±4,70
20-30	0,13±0,08	0,15±0,01	18,5±0,90	18,2±0,90	111,0±5,90	107,1±5,70
30-40	0,12±0,06	0,10±0,01	19,0±0,90	18,7±0,94	108,0±6,40	103,8±6,20
40-50	0,11±0,05	0,10±0,02	20,0±1,00	19,8±0,95	112,0±6,00	111,0±6,10
50-60	-	сліди	0,65±0,03	0,63±0,03	39,0±1,95	35,6±1,78

Примітка. Будова технозему: 0-50 см гумусована ґрунтова маса чорнозему звичайного, нижче - шлам;

2. Зміни вмісту макроелементів у тричленній моделі технозему за тривалого сільськогосподарського використання рекультивованого шламосховища

Глибина, см	Загальний азот, %		Рухомий фосфор, мг/кг		Обмінний калій, мг/кг	
	1982 р.	2020р.	1982 р.	2020р.	1982 р.	2020р.
0-10	0,21±0,01	0,26±0,01	29,0±1,45	29,6±1,47	105,0±5,20	102,2±5,26
10-20	0,27±0,01	0,25±0,04	25,5±1,26	24,6±1,27	105,0±5,21	105,7±5,30
20-30	0,19±0,01	0,21±0,08	20,0±1,02	20,5±1,01	100,0±4,90	103,1±5,00
30-40	0,15±0,08	0,12±0,07	21,0±1,05	20,2±1,04	105,0±5,26	100,2±5,30
40-50	0,15±0,07	0,14±0,06	20,0±0,90	20,3±1,00	95,0±4,77	94,1±4,80
50-60	0,09±0,05	0,09±0,04	14,8±0,74	13,9±0,75	100,0±5,01	97,1±5,05
60-70	0,08±0,04	0,07±0,04	14,5±0,72	14,8±0,73	85,0±4,30	87,1±4,26
70-80	0,06±0,03	0,07±0,04	12,0±0,60	11,2±0,55	80,5±4,02	84,3±4,10
80-90	0,08±0,04	0,06±0,03	14,0±0,70	13,8±0,67	81,0±4,10	82,3±4,16
90-100	0,07±0,04	0,07±0,03	9,8±0,49	9,8±0,05	80,7±4,04	77,6±4,00
100-110	–	–	0,44±0,03	0,43±0,03	12,0±0,9	15,2±0,7

Примітка. Будова тричленної моделі технозему: 0-50 см – гумусована маса зонального ґрунту, 50-100 см – лесоподібний суглинок, нижче – шлам.

Отже, за 38-річний період сільськогосподарського використання рекультивованого залізородного шламосховища вміст основних елементів живлення рослин (азоту, фосфору, калію) у верхньому 50-см гумусованому шарі практично не змінився.

Аналіз даних, наведених у таблиці 3, свідчить, що кращим варіантом рекультивациі заповненого залізородного шламосховища є тричленна модель техногенно створеного ґрунту, а саме: на сплановану поверхню шламу наноситься спочатку 50 см прошарок лесоподібного суглинку, який перекривається 50 см гумусованим родючим шаром зонального ґрунту. На такому варіанті урожайність досліджуваних культур була на рівні зональних непорушених ґрунтів, а витрати на рекультивацию значно менші, ніж у варіанті з 80-см гумусованим шаром.

Аналізуючи дані, наведені в таблиці 4, можна зробити узагальнення про деяке збільшення вмісту гумусу (на 0,21 %)

за 38-річний період. Процес гумусонакопичення відбувся насамперед завдяки надходженню в ґрунт значної фітомаси корневих і післяжнивних залишків (154 т/га) за період сільськогосподарського використання рекультивованого шламосховища, а також завдяки високим показникам ґрунтоутворюючого потенціалу природних факторів території.

Дані, наведені в таблиці 5, свідчать про певну акумуляцію гумусу у верхніх шарах технозему за 38-річний період. Причому більший приріст гумусу зафіксовано в орному шарі (0-30 см), який склав 0,35 %, однак у підорному шарі (30–50 см) цей показник був дещо меншим – 0,21 %. У прошарку з лесоподібного суглинку (50-100 см) факт гумусонакопичення не зафіксовано, вміст гумусу за весь період досліджень не змінився.

Порівнюючи зміни вмісту гумусу у дво- і тричленній моделях техноземів, можна констатувати, що завдяки

3. Врожайність сільськогосподарських культур на різних варіантах рекультивації залізородного шламосховища, ц/га (середнє за 1982 – 2020 рр.)*

Товщина шару ґрунту, см	Озима пшениця	Ярий ячмінь	Кукурудза на зерно	Багаторічна бобово-злакова травосуміш*
Без прошарку лесоподібного суглинку				
30	24,6	21,7	25,7	25,1
50	33,5	27,7	34,7	34,8
80	41,2	33,5	45,5	42,2
З 50-см прошарком лесоподібного суглинку				
30	30,3	27,8	34,1	31,3
50	37,6	32,4	40,9	39,8
80	41,7	33,5	47,1	43,8
Прибавка урожаю від прошарку з лесоподібного суглинку, ц/га				
30	5,7	6,1	8,4	6,2
50	4,1	4,7	6,2	5
80	0,5	0	1,6	1,6
Окупність урожаєм кожного 10-см шару насипного ґрунту, ц/га				
30	8,2	7,2	8,6	8,4
50	4,5	3,0	4,5	4,9
80	2,6	1,9	3,6	2,5

* врожайність багаторічної бобово-злакової травосумішки в середньому за II-V роки використання.

4. Зміна вмісту гумусу в двочленній моделі технозему за тривалого сільськогосподарського використання рекультивованого шламосховища (верхній 50-см гумусований шар)

Показники	Глибина, см	Вміст гумусу, %
Насипний шар ґрунтової маси чорнозему південного		
Первинний вміст	0-50	2,82
Через 38 років сільськогосподарського використання	0-10	3,08±0,13
	10-20	3,08±0,17
	20-30	3,07±0,17
	30-40	3,04±0,15
	40-50	2,96±0,14
	Середнє в шарі 0-50 см	3,03

прошарку з лесоподібного суглинку в тричленній моделі процеси гумусонакопичення відбувалися більш інтенсив-

но, про що свідчить більший приріст вмісту гумусу у верхньому 30-см шарі за 38-річний період. Це можна пояснити

5. Зміна вмісту гумусу в тричленній моделі технозему за тривалого сільськогосподарського використання рекультивованого шламосховища

Показник	Глибина, см	Уміст гумусу
Насипний шар ґрунтової маси чорнозему		
Первинний вміст	0-50	2,82
Через 38 років використання	0-10	3,19±0,17
	10-20	3,17±0,17
	20-30	3,18±0,18
	30-40	3,02±0,15
	40-50	3,05±0,14
	Середнє в шарі 0-50 см	3,12
Прошарок із лесоподібного суглинку		
Первинний вміст	50-100	0,7
Через 38 років використання	50-60	0,78±0,06
	60-70	0,70±0,11
	70-80	0,66±0,05
	80-90	0,65±0,08
	90-100	0,68±0,06

кращими едафічними умовами, які формуються в більш потужній за глибиною моделі технозему завдяки більшій вологоємності й більшому кореневмісному об'ємі із фітосприятливих субстратів.

Висновки

Проведені дослідження дозволяють стверджувати, що в процесі тривалого традиційного для Степу сільськогосподарського використання рекультивованого шламосховища покращується завдяки надходженню у ґрунт значної рослинної маси кореневих і післяживних залишків. Рекультивация шламосховища сприяє суттєво покращити екологічний стан довкілля, повертає в господарське використання значні площі ґрунтових ресурсів для товарного сільськогосподарського виробництва.

Оптимальною моделлю сільськогосподарської рекультивациі залізород-

них шламосховищ є модель технозему, сформованого з 50 см прошарку лесоподібного суглинку, на який наносять 50 см родючого шару ґрунту (гумусована маса гумусо-акумулятивного й першого перехідного горизонтів зонального чорнозему). Така модель дає змогу вести на рекультивованих землях традиційне для Степу України інтенсивне землеробство з відтворенням родючості ґрунту, суттєво збільшити площу продуктивних ґрунтових ресурсів у промисловому регіоні, а також радикально покращити санітарно-гігієнічний стан довкілля.

References

1. Bekarevich N.E., Zabaluev V.A. (1996). Biologicheskaya konservaciya i sel'skohozyajstvennoe ispol'zovanie zhelezorudnyh shlamohranilishch Krivbassa. (Biological conservation and agricultural use of iron ore sludge storage in Kryvbas). Zemelni resursy

- Ukrainy: rekultyvatsiia, ratsionalne vykorystannia ta zberezhennia. Mater. mizhnarod. nauk. konf., prysviachenoi 90-richchiu z dnia narodzhennia prof. M. O. Bekarevicha. Dnipropetrovsk: Dnipropetrovskiy derzhavnyi ahrarnyi universytet, 54-56.
- Zabaluev V.A.(2002). Opyt sel'skohozyajstvennogo ispol'zovaniya zemel', sozdannykh na rekul'tivirovannom shlamohranilishche SevGOKA (The experience of agricultural use of lands created at the reclaimed sludge storage pond Northern Mining and Processing Plant). Vidnovlennia porushenykh pryrodnykh ekosystem. Materialy Pershoi mizhnarodnoi naukovoï konferentsii. Donetsk, 148-149.
 - Kachestvo pochvy. Opredelenie obshchego soderzhaniya azota. Modificirovannyi metod Keldalia. (2003). DSTU ISO 11261-2001
 - Pochvy. Opredelenie podviznykh soedinenij fosfora i kaliya po modificirovannomu metodu Machigina.(2003) DSTU 4114-2002.
 - Yakist grunt. Vyznachennia rukhomykh spoluk fosforu i kaliu za metodom Kirsanova v modyfikatsii NNTs IHA. (2006). DSTU 4405:2005.
 - Pochvy. Opredelenie gumusa po metodu Tyurina v modifikatsii CINAQ. GOST 26213-84.
 - Dospekhov B. A. (1985). Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy).(Field experiment technique (with the basics of statistical processing of research results)). Ucheb. posobie dlya vyssh. s.-h. ucheb. zavedenij. 5-e izd.. Moskva. Agropromizdat, 351.
 - Zabaluev V.O., Dehtiarov V.V., Tykhonenko D.H., Veremeienko S.I., Balaiev A.D., Tonkha O.L., Pikovska O. V. (2015). Okhoro-na hruntiv ta vidtvorennia yikh rodiuchosti (Soil protection and reproduction of their fertility). KP "Kompynt", 380.
 - Bekarevich N.E., Gorobec N.D., Kolbasin A.A. i dr. (1971). O rekultyvatsyy zemel v stepi Ukrainy: monografiya (On land reclamation in the steppe of Ukraine: monograph) pod red. N.E. Bekarevicha. Dnipropetrovsk: Promin, 218.
 - I.H. Uzbek, A.S. Kobets, P.V. Volokh y dr. (2010). Rekultivatsiya narushennykh zemel kak ustojchivoe razvitie slozhnykh tekhnоекосистем: monografiya (Reclamation of disturbed lands as sustainable development of complex technoecosystems: monograph). pod red. I.H. Uzbeka. Dnipropetrovsk: Porohy, 263.
 - Le, S. H., Ji W., Yang, H. J., Kang, S. Y. & Kang, D. M. (2017). Reclamation of mine-degraded agricultural soils from metal mining: lessons from 4 years of monitoring activity in Korea. Environ. Earth Sci., 76, Art. 720. doi: 10.1007/s12665-017-7076-9.
 - Kuter, N. (2013). Reclamation of degraded landscapes due to opencast mining. In Advances in Landscape Architecture, 33, 823–858. doi: 10.5772/55796.
 - Legwaila, I. A., Lange, E. & Cripps, J. (2015). Quarry reclamation in England: a review of techniques. JASMR, 4(2), 55–79. doi: 10.21000/jasmr15020055.
 - Kozhevnikov, N. V. & Zayshintseva A. V. (2015). Problema uskorennoho pochvoobrazovaniya v rekultivatsii narushennykh zemel (Problem of high soil forming in reclamation of destroyed lands). Bulletin of Kemerovo State University, 2(1), 26–29. (in Russian). doi: 10.21603/2078-8975-2015-1-26-29.

Y. Buriak, V. Zabaluev (2020). CHANGES IN THE FERTILITY OF TECHNO-SOILS DURING LONG-TERM AGRICULTURAL USE OF RECLAIMED IRON ORE SLUDGE STORAGE IN THE STEPPES OF UKRAINE. PLANT AND SOIL SCIENCE, 11(3): 88–96. <https://doi.org/10.31548/agr2020.03.088>

Abstract. An exceptional feature of the ecological state of Ukraine is that ecologically acute local situations are aggravated by major regional crises. The main reasons that led to the threatening state of the environment are outdated production technology and equipment, high energy and material

consumption, which exceeds two to three times the corresponding indicators of developed countries, as well as the high level of concentration of industrial facilities. industrial region are environmentally hazardous man-made objects, for which more than 7.5 thousand hectares of land. According to Art. 14 of the Constitution of Ukraine, land is the main national wealth. Extensive opportunities for modern science and technology have brought to the fore new opportunities for efficient land use. Subject to reclamation, they can be successfully used for agricultural production. Reclamation of disturbed lands is provided by the Land Code (Article 166) and the Law "On Land Protection" (Article 52). Reclamation of land plots is carried out by layer-by-layer application on low-yielding land plots or plots without soil cover of the removed soil mass, and if necessary - and the parent rock in the order that ensures the highest productivity of reclaimed lands.

Agroecosystems formed on reclaimed lands are currently mostly not marked by ecological stability and high productivity of agrophyto-coenoses. According to the results of 38 years of research in a stationary experiment, it was found that for agricultural reclamation of iron ore sludge the most rational model of technozem is a three-membered edaphic structure: This option ensures the productivity of crops at the level of intact soils. During the period of use, the indicators of humus accumulation slightly increased in the arable layer, gross reserves and the content of macronutrients did not change, the quality of man-made soil did not deteriorate.

Keywords: soil, reclamation, technozem, fertility.
