рельєфу на основі морфометричних даних. Застосування отриманих в результаті морфометричного аналізу точних і диференційованих кількісних даних про обрану територію в ландшафтних дослідженнях дозволяє використовувати ці морфометричні показники, по-перше, як індикатори виявлення нестійких ландшафтів та з метою встановлення тенденцій і динаміки їх розвитку, по-друге, як дані для кількісного обґрунтування вже виділених ландшафтних одиниць, по-третє, з метою виявлення їхнього впливу на зміну і роздробленість ареалів сучасних геосистем. Пропонований нами системний аналіз рельєфу південного схилу Великого Кавказу дозволяє визначити морфодинамічну напруженість території.

Ключові слова: рельєф, морфометрична напруженість, гірські геосистеми, ландшафтний потенціал.

I. Kuchinskaya, PhD Geography, Associate Professor, Leading Researcher,
S. Alekberova, PhD Geography, Senior Researcher
Department "Landscape Landscape and Landscape Planning",
Institute of Geography, Azerbaijan National Academy of Sciences, Baku, Azerbaijan,
D. Mamedova, the teacher
Azerbaijan State Pedagogical University, Baku, Azerbaijan

SYSTEM ANALYSIS OF THE RELIEF OF THE SOUTHERN SLOPE OF THE GREATER CAUCASUS AS AN INDICATOR OF THE ECOLOGICAL – LANDSCAPE POTENTIAL OF THE TERRITORY

Assessment of the eco-landscape potential of mountain regions requires a systematic study of all major landscape-forming components that determine the direction and trends of development. A systemic view of the landscape allows us to reveal its structure, as well as the correlation links of components in space and time, hence the possibility of searching for variants, principles and methods for coordinating the relationship for different types of terrain. The object of our research is modern geosystems of the southern slope of the Greater Caucasus, characterized, like all mountain landscapes, by instability and special sensitivity to both natural and anthropogenic loads. Here we see a complex geosystem structure that depends on the altitude of the terrain, the exposure of slopes, the dismemberment of the relief, exogenous processes, the arrival and consumption of solar energy, and anthropogenic impacts. Landsat ETM-8 satellite imagery, 1 : 100,000, 1 : 200,000 topographic maps, route research materials, literary sources and thematic maps of various content and scale, as well as a landscape map of Azerbaijan (2015) of scale 1 : 250,000, compiled in the department "Landscape and Landscape Planning". The main morphometric parameters of the relief, which have a significant influence on the development and formation of geocomplexes and the leading components (characteristics) of the eco-landscape environment are hypsometry, surface slope angles, slope exposition, vertical and horizontal relief decomposition, etc. Significance in the formation of the eco-landscape environment of the listed morphometric characteristics is unequal, and they affect the intensity of the eco-landscape situation to varying degrees. Based on the analysis of the obtained morphometric maps on the southern slope of the Greater Caucasus, one can distinguish three large transverse segments. The first segment covers the territory located between the rivers Mazimchay and Kishchay. The second segment covers the space that lies in the interfluvium of the Kishchay-Damiraparanchay. The third section is located between the rivers Vandamchay and Girdimanchay. The results of the morphometric analysis were taken into account in the general assessment of the morphodynamic tension and the mapping of the landscape-morphometric tension of the southern slope of the Greater Caucasus. Analysis of the map showed that the area surrounding the steep slopes within the height of 1800–3000 m, where the slopes are deprived of vegetation cover intensive dismemberment of the modern relief. They occupy a large area in the interfluvium between Kurmukhchay-Dashagylchay, and also Tikanlychay-Girdymanchay.

The large morphometric tension of these regions is ensured by intensive mudflow processes and landslide processes, which causes an increase in the area occupied by mudflow foci. The increase in the volume of materials ready for demolition creates favorable conditions for mudflow and increases the likelihood of the frequency of passage of mudflows.

This region is characterized by unstable, unproductive nival-subnival and rock-meadow landscape complexes. Relatively less tension is observed in the low-middle mountain zone, especially in the Zagatala State Reserve area, where relative preservation of the forest cover reduces the rate of development of exotic processes, which enhances the dismemberment of the relief. In connection with the decrease in the relative and absolute heights of the main watershed ridge in this sector of the forest belt, denudation processes are less developed – screes and placers are less developed.

The proposed system analysis of the relief of the southern slope of the Greater Caucasus allows not only to assess its role in the formation and spatial differentiation of modern landscapes, but also demonstrates that from the point of view of the sustainable functioning of landscapes, the most favorable conditions for the development of regular relief-forming processes exist in the mid-mountain belt.

Key words: relief, morphometric tension, mountain geosystems, landscape potential

<http://doi.org/10.17721/1728-2721.2017.68.13>
УДК 504.054, 504.064

В. Михайленко, канд. хім. наук, доц., А. Шолохова, магістр
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ

ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ГЕОЕКОСИСТЕМИ ТУЛЬЧИНЬСЬКОГО ПОЛІГОНУ ТПВ

Проаналізовано шляхи міграції важких металів у складі фільтраційних вод із Тульчинського полігону твердих побутових відходів (ТПВ) із застосуванням системного геоecологічного аналізу, ландшафтно-геохімічного підходу та басейнового принципу охорони ґрунтових вод. Виявлено ландшафтно-геохімічні бар'єри, як імовірні місця акумуляції водорозчинних форм важких металів. Досліджено європейський досвід застосування фітореємедіаційних технологій для очищення місць захоронення відходів від токсичних речовин. Надано рекомендації щодо впровадження фітореємедіаційних заходів для рекультивації Тульчинського полігону, очищення прилеглих земель сільськогосподарського призначення та зменшення небезпек поширення забруднень трофічними ланцюгами.

Ключові слова: фільтрат, тверді побутові відходи, басейновий принцип, ландшафтно-геохімічний підхід, фітореємедіація, важкі метали.

Вступ. Проблема антропогенного забруднення територій ТПВ, зокрема селітебних зон і земель сільськогосподарського призначення в Україні відрізняється особливою масштабністю. Існуюча практика розміщення відходів на полігонах та стихійних звалищах без належної організації роздільного збору, інженерного облаштування та моніторингу місць захоронення відходів призводить до виникнення небезпек для довкілля і здоров'я населення [14]. За даними Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства, в Україні функціонують понад 6000 легальних полігонів і 32000 нелегальних звалищ

[9]. У більшості випадків місця розташування таких об'єктів знаходяться поблизу малих міст на землях, де традиційно вирощується сільськогосподарська продукція. Основним негативним чинником впливу таких об'єктів на довкілля є фільтрат (дренажні води), який утворюється в тілі звалища. На звалищах, споруджених без дренажної системи, фільтрат просочується у ґрунтові та підземні води. Це призводить до значного забруднення прилеглих територій токсичними органічними та неорганічними сполуками, зниження якості й безпечності сільськогосподарської продукції та вилучення земель із господарського обігу. Проблема має тенденцію

до погіршення, оскільки хімічні забрудники легко вбудовуються у трофічні ланцюги і концентруються в десятки і навіть сотні разів.

Одним зі шляхів зменшення вмісту токсичних речовин у межах геоекосистем полігонів ТПВ є фіторе mediaція. Цей метод базується на використанні рослин та асоційованих з ними мікроорганізмів, які акумулюють забруднюючі речовини і значно знижують забруднення ґрунтів.

Аналіз літератури. Дослідження щодо негативного впливу важких металів на ґрунти та, зокрема, на землі сільськогосподарського призначення представлені у роботах вітчизняних авторів І. Трахтенберга, Л. Гирлі, В. Савицького, Ю. Малика, В. Кучерявого. У роботах І. Коцюби визначено вплив звалищ на ґрунт і водні об'єкти навколо сміттєзвалища ТПВ м. Житомира. Оцінці екологічного стану земельних ділянок, зайнятих відходами та об'єктами поводження з ними, присвячені роботи Т. Орлової. Особливості техногенного забруднення території навколо Київського полігону ТПВ досліджені в роботі Ю. Кулинич. Автор зауважує, що процеси взаємодії фільтрату із ґрунтом в Україні майже не досліджувались, механізми сорбції важких металів не встановлено. У роботі зарубіжних авторів [7] показано, що вміст свинцю (Pb), міді (Cu), нікелю (Ni), хрому (Cr) та цинку (Zn) перевищує санітарні нормативи у місцях розташування полігонів ТПВ. Це призводить до погіршення хімічних властивостей ґрунтів та впливає на організми через рослини, вирощені на забруднених полях для харчових потреб залежно від типу ґрунтів. Останніми роками технології фіторе mediaції активно поширюються в країнах Балтійського регіону [2; 5; 8]. Проте в Україні фіторе mediaція перебуває на початковій стадії розвитку. Робіт вітчизняних авторів поки небагато. Можливості фіторе mediaції земель, забруднених пестицидами, висвітлені в роботах Л. Моклячук. Відновлення засолених земель вугледобувних районів фіторе mediaцією досліджено в роботах М. Лаврика, А. Павличенко.

Метою даної публікації є виявлення потенційних небезпек, пов'язаних із міграцією важких металів із Тульчинського полігону ТПВ, який перебуває у стадії рекультивативації та демонстрація можливостей фіторе mediaції для відновлення якості ґрунтів геоекосистеми полігону. Відновлення забруднених агроландшафтів – складна комплексна задача, де стикаються інтереси багатьох суміжних наук – агробіології, гідрогеології, інженерної екології, економічних і соціальних дисциплін. Кожна має власні інструменти пом'якшення антропогенного тиску на довкілля та здоров'я людей. Стосовно геоекології автори вважають доцільним показати можливості ландшафтно-геохімічного підходу та басейнового принципу для прогнозування шляхів міграції й акумуляції забруднень, виявлення місцезнаходження "гачих точок", які підлягають відновленню.

Викладення основних результатів. Досліджувана територія знаходиться в Тульчинському районі Вінницької області, чисельність населення якого становить 55,9 тис. осіб [12]. Згідно із паспортною документацією Тульчинський полігон із координатами 48°39'13.3" пн. ш. 28°52'32.9" сх. д. був закладений у 1990 р. і приймав муніципальні відходи із міста Тульчин і трьох сусідніх сіл: Мазурівка, Нестерварка і Суворівське. Кількість жителів, що користувались послугами полігону, становить 23700 осіб. Загальний обсяг відходів, що надходили на полігон, становив 8 500 кг у рік. Виробнича сфера міста представлена харчовою і переробною промисловістю (99,9 %). Основні підприємства району працюють у сфері перероблення молока, виробництва молочних та м'ясних продуктів, вирощування птиці [12]. Полігон ТПВ мали закрити у 2006 р., проте офіційне закриття відбулося у 2017 р. у рамках швейцарсько-українського проекту DESPRO [14]. У процесі експлуатації на полігон поступали несортовані побутові відходи, у тому числі й небезпечні відходи без попередньої обробки. Потрапляння на полігон відходів побутової електроніки, люмінесцентних ламп, термометрів, акумуляторів і батарейок, фармацевтичних та ветеринарних препаратів призвело до накопичення в тілі полігону ряду токсичних речовин, які містять ртуть, кадмій, кобальт, молібден, алюміній, цинк, мідь залізо, нікель тощо. Полігон не має захисного накриття, тому вологість відходів постійно збільшується внаслідок потрапляння атмосферних опадів [12].

За даними інженерно-гідрологічних досліджень (матеріали Подільської гідрогеологічної партії) Тульчинський полігон розташований на водонепроникних породах (суглинок лесоподібний і суглинок важкий). Проте, полігон не обладнаний дренажною системою. Це означає, що фільтрат на маючи можливості проникнення у ґрунтові води, через "підшову" полігону розвантажується вниз по схилу до найближчої водойми [14]. Атмосферні опади, фільтруючись через тіло полігону, вивимають небезпечні водорозчинні сполуки, які згодом поступають у довкілля. Якісний та кількісний склад забруднювальних сполук, що вивільняється із тіла полігону, має свої характерні відмінності, пов'язані із морфологічним складом накопичених відходів, структури, чисельності та соціально-економічного стану населення, міської інфраструктури, клімату, кількості опадів, рельєфу тощо. Разом із тим, існує певна спорідненість типових хімічних забрудників, наприклад, аніонів, важких металів, органічних кислот, звалищних газів. Важкі метали Cd, Cu, Fe, Hg, Ni, Pb є типовими забрудниками, характерними для муніципальних відходів. Деякі із можливих джерел потрапляння важких металів у довкілля у складі фільтрату наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Джерела потрапляння важких металів і органічних забрудників та ступені їхньої токсичності [6]

Морфологічні фракції відходів	Ступені токсичності важких металів та деяких органічних сполук		
	Клас небезпеки 1	Клас небезпеки 2	Клас небезпеки 3
Будівельні матеріали (цемент, залізо, пластмаси)	Pb (ГДК 0,03 мг/л) Cd (ГДК 0,001 мг/л)	Zn (ГДК 0,084 мг/л) Cu (ГДК 0,012 мг/л) Cr, Ni As	Ca, Mg, Na
Фармацевтичні й ветеринарні препарати	Hg (ГДК 0,0001 мг/л)	Zn, As	
Побутова техніка (теле-, радіоапаратура, монітори, кондиціонери, холодильники, електричні лампи)	Pb, Hg, Cd,	Zn, Cu, Ag, Bi Sn, Fe, Ni, Mo	
Хімічні засоби захисту рослин (ХЗЗР)	Hg, Cd,	Zn, Cu, As, Sb Bi	
Фарби, лаки	Hg, Pb, Cd	Cr, As, Sb, Zn, Cu,	Ti
Хімічні джерела електричного струму	Pb, Cd, Hg,	Zn, Cu, Ag, Cr,	Li,
Поліграфічна продукція	Pb, Hg,	Cu, Cr, As,	
Органічні відходи (	Залишки ХЗЗР	Непридатні хімікати	Тара і упаковка

Захоронення таких відходів призводить до забруднення не тільки місць складування, а й прилеглих територій. Фільтрат є одним із головних шляхів поширення забруднення важкими металами, який утворюється на полігоні ТПВ із вологістю більше 55 %. Напрямок міграції фільтрату поза межами полігону визначає басейнову структуру території. За допомогою програмного за-

безпеченні SAGA (System for Automated Geoscientific Analyses), використовуючи дані ЦМБ SRTM (цифрової моделі висот Shuttle Radar Topography Mission), нами були побудовані водозбірні площі, визначені водотоки, місцеві водойми, водозбірні басейни з усіма елементами басейнкової структури [14]. Гідрологічну будову території Тульчинського полігону ТПВ подано на рис. 1.

Рис. 1. Гідрологічна будова території Тульчинського полігону ТПВ [14]

Згідно з гідрологічною будовою, фільтрат, зливові й талі води із полігону розвантажуються у бік р. Сельниця, яка належить до басейну Південного Бугу [14]. Міграція хімічних сполук із тіла полігону в складі фільтрату визначається ландшафтно-геохімічними умовами території, основними показниками якої є фізико-хімічний склад ґрунтового покриву та значення рН ґрунту. Катіоногенні сполуки (гідратовані іони металів, метало-комплексні мають найбільшу рухливість у кислому середовищі. Аніогенні форми – ванадати, арсеніти, арсенати, селеніти, молібденіти, германати тощо – мігрують переважно у лужних середовищах. Нейтральне середовище сприяє утриманню важких металів у колоїдних розчинах, найтипівіших для природних геосистем. Зміна кислотності на межі рухомої та нерухомої фаз приводить до стабілізації (седиментації або адсорбції) рухливих іонів або, навпаки, до переходу їх у рухомий стан. Наприклад, залізо (II) переходить в осад при підвищенні значення рН до 5,5 [10]. Результати новітніх досліджень [3] показують, що важкі метали в забрудненій підземними водами джерелах утворюють сильні асоціати з органічними кислотами, утворюючи колоїдні розчини. Істотна частина важких металів у фільтраті пов'язана із колоїдними фракціями (Cd: 38–45 %, Ni: 27–56 %, Zn: 24–45 %, Cu: 86–95 %, Pb: 96–99 %). Таким чином, очікується, що поведінка важких металів у довкіллі відрізнятиметься від властивостей істинних розчинів важких металів.

Для моделювання ландшафтно-геохімічних бар'єрів автори скористались результатами великомасштабного обстеження ґрунтів Суворовської сільради, виконаних Вінницьким науково-дослідним і проектним інститутом землеустрою [13]. Кислотно-лужні характеристики ґрунтів досліджуваної території подано на рис. 2. Згідно з басейновим принципом, територія

впливу дренажних вод Тульчинського полігону на довкілля (геоекосистема полігону) обмежується в першу чергу басейном місцевого водотоку. У межах цього басейну кислотність ґрунтів змінюється від рН 4,6 до 5,3. [14]. Використовуючи методики [4; 11], у межах басейну було виділено два ландшафтно-геохімічних бар'єри: сорбційно-лужний і сорбційно-кислий (рис. 3). Сорбційно-лужний бар'єр може акумулювати розчинні форми важких металів Fe (III), Cr (III), Al та Cu, при цьому також частково утримуються Ca, Mg, Pb, Zn, Cd, Co, Ni, і Mn [14]. Рухливі форми забруднювальних речовин, які не затримуються або частково затримуються ландшафтно-геохімічними бар'єрами, мігрують вниз по схилу і потрапляють у р. Сельниця.

Детальна оцінка впливу полігону на гідрохімічну складову території неможлива без додаткових польових досліджень, які плануються для виявлення "гарячих точок" і фонових концентрацій хімічних забрудників. Увага має бути зосереджена на важких металах, віднесених до 1 і 2 категорій небезпеки (табл. 1) та їхніх кількісних характеристиках у місцях залягання ландшафтно-геохімічних бар'єрів. Ці бар'єри знаходяться на відстані 800 м від тіла полігону, на землях сільськогосподарського призначення, де вирощуються рослинні культури. Оцінка ризиків для здоров'я від вживання вирощеної продукції не ведеться, інформація про стан забруднення земель важкими металами відсутня. Автори вважають, що важкі метали, накопичені на межі ландшафтно-геохімічного бар'єра, за період експлуатації полігону (27 років) можуть становити серйозну небезпеку для здоров'я споживачів. Для зменшення негативного впливу на здоров'я людей, доцільно вилучити ці землі із сільськогосподарського користування і провести фіторе mediaцію.

Рис. 2. Ландшафтно-геохімічні бар'єри на території Тульчинського полігону ТПВ [14]

Термін "фітореMediaція" складається із двох слів: "фіто" (із грецьк. рослина) та "реMediaція" (із латин. змінити чи видалити). ФітореMediaція – загальний термін для групи технологій, що використовують здатність рослин поглинати забруднюючі речовини та проводити детоксикацію довкілля за допомогою різних механізмів. Це відносно нові екологічно ефективні та екологічно чисті технології. Вони підходять для очищення значних площ та не вимагають значних капіталовкладень, спеціального обладнання, витрат на експлуатацію. ФітореMediaція може коштувати менше 5 % вартості альтернативного методу очищення. На сьогодні фітореMediaція використовується для очищення навколишнього середовища від деяких забруднюючих речовин, у тому числі нафтопродуктів, хлору, пестицидів, вибухових речовин, важких металів та радіаційних ізотопів. Для вилучення токсичних елементів із ґрунту застосовуються фітоаккумуляція, основний принцип якої – накопичення й акумуляція в тілі рослини забруднюючих речовин без руйнування структури ґрунту. Для запобігання потраплянню забруднюючих речовин у ґрунт при відмиранні та розпаду рослин проводиться спалення біомаси рослин з або без одержання енергії. Залишкова зола має високий вміст акумульованих забруднюючих речовин, у тому числі важких металів, тому вона утилізується як відходи першого ступеня небезпечності [8].

Одним із показових прикладів застосування технології фітореMediaції може служити відновлення земель після рекультивації полігону ТПВ на о. Саарема, Естонія. Проект реалізувався у співпраці Ліннейського університету (Швеція) та Тартуського Університету наук про життя (Естонія) із Київським національним університетом імені Тараса Шевченка [1].

Іншим прикладом є шведський проект PHYTESO, який має метою рекультивацію полігонів скляних заводів у місті Еммабод, Швеція. Перший пілотний фітопарк, побудований у місті Орефорш, на землях, які колись були забруднені свинцем та арсеном. Головною рослиною-гіперакумулятором тут став соняшник.

Отже, досвід прибалтійських країн свідчить, що фітореMediaція – доволі ефективний метод очищення тери-

торії від токсичних речовин. Ця технологія може бути використана для відновлення якості забруднених територій, у тому числі геоекосистеми Тульчинського полігону ТПВ. Правильний вибір рослин передбачає виявлення місць знаходження забруднювальних речовин, їх якісний і кількісний склад, природні умови та стан полігону ТПВ. Аналізуючи типові хімічні забрудники полігонів ТПВ, геоекосистема Тульчинського полігону ТПВ забруднена сполуками ртуті, свинцю, кадмію, цинку й кобальту. Беручи до уваги природні умови території та сільськогосподарську спеціалізацію прилеглих територій, оптимальними рослинами для проведення фітореMediaції можуть стати соняшник та кукурудза. Соняшник абсорбує арсен, кадмій, хром, свинець, манган, цинк та мідь, кукурудза – арсен, кадмій, кобальт, свинець, нікель, магній та натрій [8]. Детальний аналіз ґрунту на наявність важких металів, виявлення "гарячих" точок і фонових концентрацій є необхідною умовою для свідомого вибору рослин і моніторингових спостережень.

Висновки: Полігони ТПВ мають потужний довготривалий вплив на довкілля та здоров'я людей. Системний геоекологічний аналіз дає можливість проведення екологічної оцінки території, на якій знаходиться стаціонарне джерело забруднення, показати шляхи міграції важких металів у складі ґрунтових вод, виявити ландшафтно-геохімічні бар'єри як потенційні місця їх акумуляції. Відновлення забруднених ділянок полігону та прилеглих територій можна реалізувати за допомогою фітореMediaційних технологій, які є ефективними, недорогими та не вимагають спеціального обладнання. Правильний вибір рослин-аккумуляторів залежить від фізико-хімічних властивостей забруднювальних сполук та природних умов, які є складовими ландшафтно-геохімічного аналізу. ФітореMediaція є перспективною технологією для України і може стати важливим інструментом у пом'якшенні негативного впливу закритих полігонів ТПВ на довкілля.

Список використаних джерел

1. Bhatnagar A. Hunting for valuables from landfills and assessing their market opportunities : A case study with Kudjape landfill in Estonia

/ A. Bhatnagar, F. Kaczala, J. Burlakovs and other // *Waste Management & Research*. – 2014. – P. 627–635.

2. Dushenkov S. M. Phytoremediation: a novel approach to an old problem / S. M. Dushenkov, Y. Kapulniv, M. Blaylock // *Global Environmental Biotechnology*; ed. D. Y. Wise. – Amsterdam : Elsevier Science B. V. – 1997. – P. 563–572.

3. Jensen D., Ledin A. Christensen T. Speciation of heavy metals in landfill-leachate polluted groundwater / *Water Research*. – 1999. – V. 33. – P. 2642–2650.

4. Kasting U. Reinigungsleistung von zentralen Anlagen zur Behandlung von Abflüssen stark befahrener Straßen. Dissertation, Universität Kaiserslautern [Electronic resource]. – http://deposit.dbb.de/cgi-bin/dokserv?idn=966330110&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=966330110.pdf.

5. Marchand C. Phytoremediation of petroleum hydrocarbons and trace elements contaminated soil / Linnaeus University. Dissertation No 279/2017, ISBN: 978-91-88357-63-2.

6. Moore J. W., Moore E. A. Environmental Chemistry Acad. Press, INC 1976. – P. 321–323.

7. Shaylor H., McBride M., Harrison E. Sources and Impacts of contaminants in Soil / Cornell Waste Management Institute [Electronic resource]. – <http://cwmi.css.cornell.edu>.

8. Valujeva K. Fitoremediacija izmantosanas iespejas Latvija / K. Valujeva, I. Grinfelde, I. Straupe. – Jelgava: Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Meža un ūdens resursu zinātniskajā laboratorijā. – 2016. – P. 118.

9. Аналіз стану сфери поводження з побутовими відходами в Україні за 2016 рік: стат. інформ. Міністерства регіонального розвитку, будівництва і житлово-комунального господарства України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.minregion.gov.ua>.

10. Гловин Н. М. Оцінка впливу рухомих форм важких металів Pb, Cu, Ni, Cd, Zn на якість підґрунтових вод за допомогою фізико-хімічних методів аналізу // *Наук. зап. Тернопільск. нац. пед. ун-ту. Сер.: Хімія*. – 2013. – № 20. – С. 33–36.

11. Малишева Л. Л. Геохімія ландшафтів: навч. посіб. / Л. Малишева. – К.: Либідь, 2000. – 472 с.

12. Стратегія інтегрованого поводження із твердими побутовими відходами у Тульчинському цільовому регіоні / І. В. Корнієнко, А. І. Кошма. – Тульчин: DESPRO, 2012.

13. Технічний звіт щодо коригування матеріалів великомасштабного обстеження ґрунтів КСПІ ім. Леніна с. Суворівське та земель запасу Суворовської сільської ради – Вінниця: Укр. акад. аграрн. наук, 1994. – 168 с.

14. Шолохова А. С. Геоэкологическая характеристика Тульчинского полигона твердых бытовых отходов / А. С. Шолохова, В. П. Михайленко // *Международ. молодёжн. науч. еколог. форум "Ecobaltica"*: сб. трудов. – Гродно: изд-во Гродн. гос. аграрн. ун-та. – 2017. – С. 176–187

References

1. Bhatnagar A. Hunting for valuables from landfills and assessing their market opportunities : A case study with Kudjape landfill in Estonia /

A. Bhatnagar, F. Kaczala, J. Burlakovs and other // *Waste Management & Research*. – 2014. – P. 627–635.

2. Dushenkov S. M. Phytoremediation: a novel approach to an old problem / S. M. Dushenkov, Y. Kapulniv, M. Blaylock // *Global Environmental Biotechnology*; ed. D. Y. Wise. – Amsterdam : Elsevier Science B. V. – 1997. – P. 563–572.

3. Jensen D., Ledin A. Christensen T. Speciation of heavy metals in landfill-leachate polluted groundwater / *Water Research*. – 1999. – V. 33. – P. 2642–2650.

4. Kasting U. Reinigungsleistung von zentralen Anlagen zur Behandlung von Abflüssen stark befahrener Straßen. Dissertation, Universität Kaiserslautern [Electronic resource]. – http://deposit.dbb.de/cgi-bin/dokserv?idn=966330110&dok_var=d1&dok_ext=pdf&filename=966330110.pdf.

5. Marchand C. Phytoremediation of petroleum hydrocarbons and trace elements contaminated soil / Linnaeus University. Dissertation No 279/2017, ISBN: 978-91-88357-63-2.

6. Moore J. W., Moore E. A. Environmental Chemistry. Acad. Press, INC 1976. P. 321–323.

7. Shaylor H., McBride M., Harrison E. Sources and Impacts of contaminants in Soil / Cornell Waste Management Institute [Electronic resource]. – <http://cwmi.css.cornell.edu>.

8. Valujeva K. Fitoremediacija izmantosanas iespejas Latvija / K. Valujeva, I. Grinfelde, I. Straupe. – Jelgava: Latvijas Lauksaimniecības universitāte, Meža un ūdens resursu zinātniskajā laboratorijā. – 2016. – P. 118.

9. Analiz stanu sfery povodzhennya z pobutovymy vidkhodamy v Ukraini za 2016 rik: stat. inf. Ministerstva rehionalnoho rozvytku, budivnytstva i zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy [Elektronnyy resurs]. – Rezhym dostupu: <http://www.minregion.gov.ua>

10. Hlovyn N. M. Otsinka vplyvu rukhomykh form vazhkykh metaliv Rb, Su, Ni, Sd, Zn na yakist pidhruntovykh vod za dopomohoyu fizyko-khimichnykh metodiv analizu Nauk. zap. Ternop. nats. ped. un-tu. Ser.: khimiya. – 2013. – # 20. – S. 33–36.

11. Malysheva L. L. Heokhimiya landshaftiv: Navch. posibnyk. – K.: Lybid', 2000. – 472 s.

12. Stratehiya intehrovanoho povodzhennya z tverdymy pobutovymy vidkhodamy u Tulchynskomu tsilovomu rehioni – Tulchyn: DESPRO. – 2012.

13. Tekhnichnyy zvit shchodo koryhuvannya materialiv velykomasshtabnoho obstezhennya gruntiv KSPI im. Lenina s. Suvorivske ta zemel zapasu Suvorovskoyi silskoyi rady – Vinnytsya: Ukrayinska akademiya ahrarnykh nauk, 1994. – 168 s.

15. Sholokhova A. S. Heoekologicheskaya kharakterystyka Tulchynskoho polyhona tverdikh bitovykh otkhodov / A. S. Sholokhova, V. P. Mykhaylenko // *Mezhdunarodniy molodezhniy nauchniy ekologicheskii forum "Ecobaltica"*. Sbornik trudov. – Hrodno: Yzd-vo Hrodn. Hos. Ahram. Un-ta. – 2017. – S. 176–187

Надійшла до редколегії 14.10.17

В. Михайленко, канд. хим. наук, доц., А. Шолохова, магистр
Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

ПЕРСПЕКТИВЫ ВНЕДРЕНИЯ ФИТОРЕМЕДИАЦИИ ДЛЯ ВОСТАНОВЛЕНИЯ ГЕОЭКОСИСТЕМЫ ТУЛЬЧИНСКОГО ПОЛИГОНА ТБО

Проанализированы пути миграции тяжелых металлов в составе фильтрационных вод из Тульчинского полигона твердых бытовых отходов (ТБО) с применением системного геоэкологического анализа, ландшафтно-геохимического подхода и бассейнового принципа охраны грунтовых вод. Выявлены ландшафтно-геохимические барьеры как вероятные места аккумуляции водорастворимых форм тяжелых металлов. Исследован европейский опыт применения фиторе медиационных технологий для очищения мест захоронения отходов от токсичных веществ. Даны рекомендации по внедрению технологии фиторе медиации для рекультивации Тульчинского полигона ТБО, очистки земель сельскохозяйственного назначения и снижения опасности распространения загрязнений трофическими цепями.

Ключевые слова: фильтр, твердые бытовые отходы, бассейновый принцип, ландшафтно-геохимический подход, фиторе медиация, тяжелые металлы.

V. Mykhaylenko, PhD Chemistry, Associate Professor, A. Sholokhova, Msc
Taras Shevchenko National University of Kyiv, Kyiv, Ukraine

POSSIBILITIES OF PHYTOREMEDIATION FOR LAND RECOVERY OF TULCHIN MSW LANDFILL GEOECOSYSTEM

The state of the Tulchin landfill was investigated. The impact of Tulchin municipal solid waste (MSW) landfill on the environment and human health was analyzed by means of geo-ecological method based on the landscape-geochemical approach and basin-based migration of pollutants. Typical for Ukrainian landfills hazardous waste and contaminants in their composition were described. Forecasted chemical pollutants in the leachate from the Tulchin landfill are indicated. The hydrological structure of the territory around the Tulchin landfill was constructed. The ways of migration of heavy metals in the composition of filtration waters from Tulchin MSW landfill to the environment was applied. Based on a large-scale soil analysis, soil pH within the geocosystem of the Tulchin landfill was investigated. The dependence of the migratory ability of pollutants on the pH value is considered. Landscape-geochemical barriers as probable places of water-soluble forms of heavy metals accumulation were identified by means of landscape-geochemical approach and basin principle of groundwater protection. Heavy metals which are totally or partially accumulating on the landscape-geochemical barriers are defined. Map of landscape geochemical barriers within the Tulchin landfill geocosystem was compiled. Land use within the geocosystem of the Tulchin landfill and agricultural crops were determined using geodata and satellite images. The experience of European countries in the use of phytoremediation technologies for land reclamation was analyzed. The advantages of phytoremediation technology were showed and the most important criteria for the selection of plants for phytoremediation were noted. Recommendations are given on the introduction of phytoremediation technology for cleaning Tulchin landfill, neighboring agricultural land and reducing the risk of contamination of trophic chains. Plants that can accumulate the largest number of typical pollutants were identified. Sunflower and corn were proposed like possible species for phytoremediation on the territory of Tulchin landfill geocosystem.

Key words: leachate, solid household waste, basin principle, landscape-geochemical approach, phytoremediation, heavy metals.