

10. Kovalchuk, M. S., Kroshko, Ju. V. (2012). Phanerozoic paleo alluvial sedimentological genesis within the Ukrainian Shield. Volodarsk Volynskyi.: Materials of the fifth All-Ukrainian science Conference “ The mineral wealth of Ukraine: Ways to optimal use”, 19–22.

11. Semeniuk, N. P., Zaruckij, K. M. (1992). Paleo-geomorphological criteria for prediction of gold deposits in the central part of the Ukrainian Shield. Kyiv : DAN Ukraine, 1, 84–86.

12. (2007). Tectonic map of Ukraine (a set of cards and an explanatory note) scale 1:1 000 000. Kyiv : UkrSGRI.

13. Kovalchuk, N. S. (2001). Features migration of gold in evolutionary genetics a number of residual weathered rock and gold-bearing placers. Kyiv.: Geological journal, 2, 94–102.

14. Gasiewski, A. A. (1982). Tectonic conditions of formation of minerals of the sedimentary cover of the Ukrainian shield. Kyiv : Nauk. Dumka, 180.

15. Gasiewski, A. A., Shevchenko, O. E. (1978). Cycles Meso-Cenozoic sedimentation in the Ukrainian shield, Kyiv : GEOL. Phys, 38 (6), 1–9.

*Дата находження рукопису 18.06.2015*

**Крошко Юлія Володимирівна**, молодший науковий співробітник, Інститут геологічних наук НАН України, вул. О. Гончара, 55-б, м. Київ, Україна, 01054  
E-mail: tamagoji.79@mail.ru

**Ковальчук Мирон Степанович**, доктор геологічних наук, завідувач відділом літології, Інститут геологічних наук НАН України, вул. О. Гончара, 55-б, Київ, Україна, 01054  
E-mail: kms1964@ukr.net

УДК 550.42

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.47226

## **ЦИНК И РТУТЬ В ПОЧВАХ И РАСТЕНИЯХ ТЕХНОГЕННО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЙ (НА ПРИМЕРЕ ЯВОРОВСКОГО ВОЕННОГО ПОЛИГОНА И ТЕРРИТОРИИ ЗАВОДА «РАДИКАЛ»)**

© Н. О. Крюченко, Э. Я. Жовинский, Э. В. Панаит, Е. А. Андриевская

*Представлены результаты геохимических исследований поверхностных отложений и растительности загрязненных тяжелыми металлами от различных техногенных источников: цинком – на примере Яворовского военного полигона Львовской области и ртутью – территории бывшего завода «Радикал» г.Киева. Выявлены геохимические аномалии элементов в почвах, установлены зависимости их поведения в системе «почва-растение»*

**Ключевые слова:** цинк, ртуть, почва, растение, Яворовский военный полигон, завод «Радикал»

*The results of geochemical studies of anthropogenic heavy metal pollution of surface sediments and vegetation from a variety of sources: zinc - for example Yavorov military range Lviv region and mercury - the former plant "Radical" Kyiv. Geochemical anomalies identified elements in soils are installed depending on their behavior in the system "soil-plant"*

**Keyword:** zinc, mercury, soil, plant, Yavorov military training ground, the plant "Radical"

### **1. Введение**

Цинк и ртуть – микроэлементы 2б группы (согласно таблице Менделеева), которые образуют ковалентные связи с неметаллами и образуют родство к некоторым органическим соединениям, поэтому имеют большое значение в биохимии, так как аккумулируются в растениях и органических остатках. Нами рассматривается поступление этих элементов в объекты окружающей среды, источником которых являются техногенные процессы.

Военные полигоны занимают 18 % территории Украины, причем документация о геохимическом состоянии окружающей среды отсутствует. Львовский учебный центр Прикарпатского военного округа, известный как Яворовский полигон занимает 36 153 га (24 % от всей территории Яворовского района) [1], исследования почв и растительности цинком проведено на территории четырех участков – стрельбище, полевой парк, танкодром и переправа.

Изучение распределения ртути в почвах и растениях стало актуальным в связи с экологическими пробле-

мами, возникшими вокруг территории бывшего завода «Радикал» (г. Киев), где вследствие техногенной аварии в окружающую среду поступило большое количество элемента и на сегодняшний день остается 200 тонн этого металла в грунтах, бетонных конструкциях, а также в шламах, хранящихся под открытым небом [2]. Опасность представляет воздействие испарений ртути на население, так как объект находится в непосредственной близости от жилых кварталов (1000м).

### **2. Постановка проблемы**

Целью работы является изучение распределения тяжелых металлов (цинка и ртути) в поверхностных отложениях и растениях Яворовского военного полигона и территории завода «Радикал». Для достижения цели были решены следующие задачи: установлены пространственные закономерности распределения цинка и ртути в почвах; определено их содержание в растениях; установлена связь в системе «почва-растение».

Прежде всего, необходимо было определить источники поступления металлов в почвы исследуемых территорий. Так, источником цинка на Яворовском полигоне являются продукты распада горюче-смазочных материалов, остатки серебряно-цинковых аккумуляторов, разрушение снарядов в результате коррозии. Кроме того, цинк широко применяется для «цинкования» – нанесения гальванических покрытий, предохраняющих от ржавления поверхности стальных и железных листов, труб, проводов, металлических сеток, а также для производства латуни и других сплавов.

Источником ртути в почвах территории бывшего завода «Радикал» явилась техногенная авария, в результате чего металл попал в окружающую среду. Немного истории: завод «Радикал» работал более 50 лет, на предприятии производили хлор, каустическую соду, серную и соляную кислоты, бертолетову соль для взрывчатых веществ. В 1996 году в электролизном цеху, где в специальных емкостях находились сотни тонн ртути, которая использовалась как жидкий электрод, обвалилась крыша, вследствие чего произошло разрушение емкостей с металлом [2].

*Методы определения металлов.* Валовое содержание цинка в почвах и растениях определялось спектральным методом; подвижные формы – атомно-абсорбционным. Ртуть – методом масс-спектрометрии с индуктивно-связанной плазмой (ИСП-МС).

### 3. Литературный обзор

На экологическое состояние военных полигонов в Украине обратили внимание лишь в конце 90-х годов [1, 3, 4]. Однако, исследования авторов касаются только проблем функционирования экосистем в изменённых человеком условиях и не касаются геохимического аспекта.

Относительно территории завода «Радикал», то в открытой печати информации про состояние окружающей среды нет, существуют лишь материалы отчетов, которые находятся в Государственном информационном геологическом фонде Украины "Геоинформ Украины", где приведены содержания ртути в почвах, природных водах и илах за 1996, 2002–2005 годы.

### 4. Геохимические исследования почв и растений

Территория бывшего завода «Радикал» расположена в г. Киев (левый берег р.Днепр), Яворовского военного полигона – северо-западная часть Львовской области (рис. 1).



Рис. 1. Расположение участков. 1 – Яворовский военный полигон (Львовская область); 2 – бывшая территория завода «Радикал» (левобережье г.Киев)

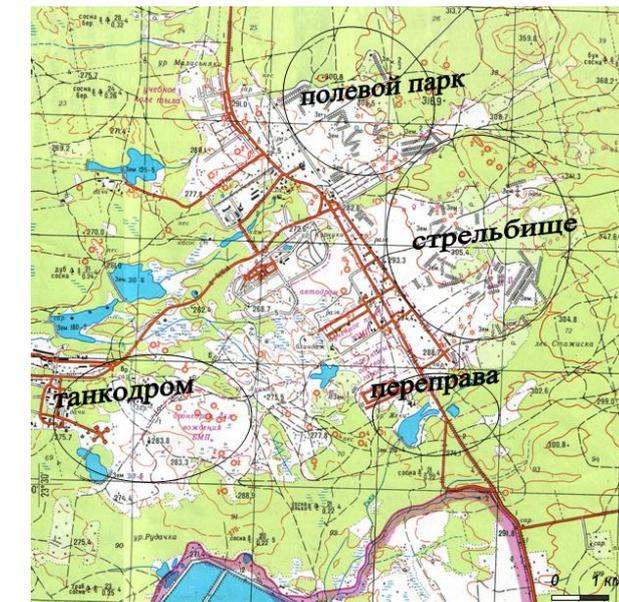
Первым этапом исследований было изучение распределения цинка в почвах и растительности Яворовского полигона. Полигон – участок суши, который предназначен для испытаний различных видов техники, оружия, а также для боевой подготовки войск. Территория исследований охватывала несколько зон полигона (рис. 2): полевой парк (1км<sup>2</sup>), стрельбище (2,5 км<sup>2</sup>), танкодром (1,5 км<sup>2</sup>), переправа (0,5 км<sup>2</sup>).

Полевой парк состоит из участков для размещения вооружения и военной техники подразделений. На территории находятся: контрольно-технический пункт; пункт заправки; пункт чистки и мойки; площадка для технического обслуживания и ремонта; площадка для военной техники, ожидающих технического обслуживания и ремонта; площадка для размещения складов военно-технического имущества; площадка для складирования металлолома; стоянки военной техники. Территория стрельбища предназначена для боевой и учебной стрельбы, бомбометания, а также для проведения различных учений войск. Танкодром используется для обучения личного состава военной части вождению боевых машин, а также для стрельб. Он оснащен усовершенствованной полосой препятствий, включающей подъемы и спуски. Переправа (озеро) – участок, подверженный размыву, который используется для проверки устойчивости военной техники к водным преградам.

При сравнительном анализе химического состава почв военного полигона за эталон брали природные почвы заповедника «Розточье», который соседствует с ним. Растительность заповедника представлена мешаными лесами (бук, ели, дуб); почвы, преимущественно светло-серые и серые лесные (рН 5–6,8). В профиле почв выделяются следующие горизонты: лесная подстилка мощностью 2–5 см, гумусовый горизонт мощностью 10–55 см, переходный гумусово-элювиальный горизонт мощностью до 15 см, переходный горизонт к материнской породе. При анализе распределения цинка в вертикальном профиле почв его содержание находилось в пределах 20–50 мг/кг, в зависимости от наличия

органической составляющей, которая является сорбентом элемента (рис. 3, а).

ющей почв, например, на стрельбище. Напротив, участок переправы характеризуется «промывным режимом» почв, что способствует рассеиванию цинка.



а

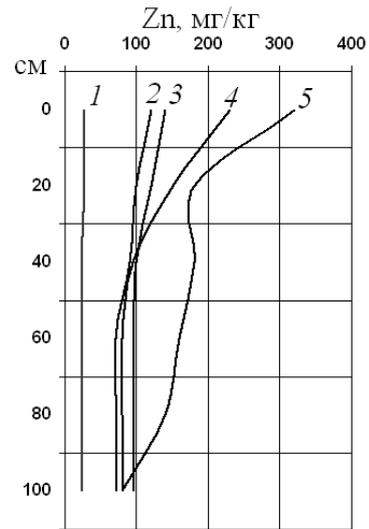


б

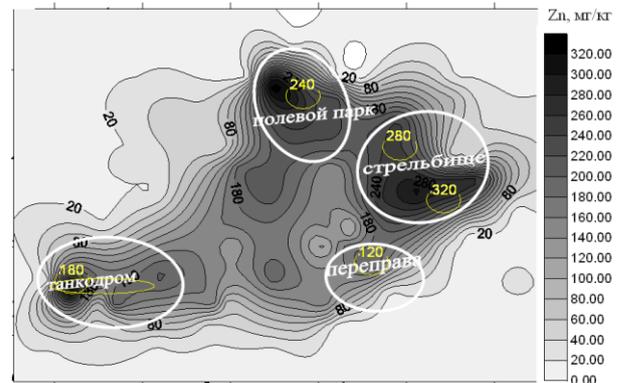
Рис. 2. Расположение участков исследования на Яворовском военном полигоне: а – на топооснове; б – общий вид участков

На территории полигона почвы техногенно измененные, что выражается в разрушении их целостности. Известно, что до тех пор, пока тяжелые металлы прочно связаны с составными частями почвы и труднодоступны, их отрицательное влияние на почву и окружающую среду будет незначительным.

Однако, на каждом участке существуют локальные территории, где зафиксировано превышение содержания, относительно фонового на глубине 0–10 см, что указывает на техногенное загрязнение. По степени загрязнения почв цинком можно участки поставить в следующий ряд: стрельбище (320 мг/кг) – полевой парк (260 мг/кг) – танкодром (150 мг/кг) – переправа (120 мг/кг). Эту особенность в концентрировании цинка можно объяснить увеличением глинистой составля-



а



б

Рис. 3. Распределение цинка в поверхностных отложениях Яворовского военного полигона. а – вертикальном профиле лесных серых почв: 1 – заповедник «Розточье», 2 – переправа, 3 – танкодром 4 – полевой парк, 5 – стрельбище, б – изолинии концентраций цинка (глубина отбора проб 0–10см)

Построив схемы изолиний концентрации цинка по валовому содержанию (рис. 3, б) можно отметить различный характер его распределения в почвах по площади. Если на территории стрельбища – это локальные площадные участки, то на территории танкодрома – это вытянутые ореолы вдоль условных дорог, которые распространяются не более чем на 10 м вокруг и содержание цинка превышает фоновый в 3–4 раза. Цинк поступает в придорожное пространство в результате истирания различных деталей, эрозии оцинкованных поверхностей, износа шин, за счет использования в маслах присадок, содержащих этот металл. Так, в качестве антиокислительных присадок к моторным маслам применяют диалкил- и диарилдифитофосфаты цинка, которые улучшают также антикоррозионные свойства и уменьшают износ деталей. Массовая доля цинка в моторных маслах для бензиновых двигателей составляет 0,09–0,12 %, в маслах для дизельных двигателей – 0,05–0,1 % [5]. Территория полевого парка загрязнена

цинком в местах пункта заправки и площадки для технического обслуживания и ремонта.

Для анализа поведения цинка в системе «почва-растение» проведена оценка многолетних злаков (пырей), как наиболее часто встречающегося растения на территории исследований. Установлено (рис. 4), что растение интенсивно накапливает цинк при содержании его в почве до 70 мг/кг (валовое содержание) и 2 мг/кг (подвижные формы). При валовом содержании цинка в почве 100–200 мг/кг и 3–8 мг/кг содержание цинка в растении не превышает 50 мг/кг. Это связано с фактором ограниченного поглощения элемента растениями в связи с наличием физиолого-биохимических барьеров.

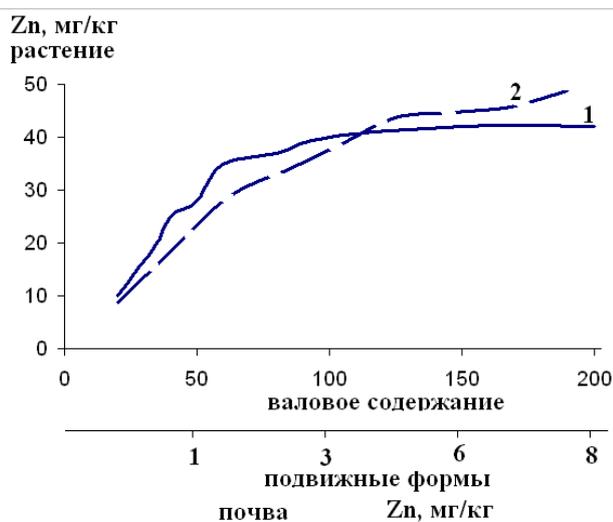


Рис. 4. Зависимость содержание цинка в почвах и растениях: 1 – валовое содержание в почвах, 2 – содержание подвижных форм

После использования территории военных полигонов передаются сельским хозяйствам. Поэтому, вопрос накопления цинка растительностью имеет большое значение.

Второй этап исследований – изучение распределения ртути в почвах и растениях территории бывшего завода «Радикал» (рис. 5).

Как известно, ртуть является самым токсичным из тяжелых металлов. Среднее содержание ртути в дерново-подзолистых почвах Киевской области составляет 0,03 мг/кг, предельно-допустимая концентрация (ПДК) – 2,1 мг/кг. Концентрация ртути в почве находится в прямой зависимости от количества физической глины и органического вещества и в обратной – от величины pH [6]. Кислые почвы тяжелого гранулометрического состава с высокой обеспеченностью органическим веществом обладают самой высокой способностью аккумулировать ртуть. pH дерново-подзолистых почв составляет 6,2–7,2 мг/кг.

Проанализировано содержание ртути по вертикали (до глубины 1 м) в почвах фоновых территорий и территории исследований. Для фоновых территорий (20 км от территории завода «Радикал») характерна тенденция к уменьшению содержания ртути. Так, на глубине 0–10 см содержание ртути составляет 0,03 мг/кг, 20–30 см – 0,034–0,037 мг/кг (сорбционный барьер), до

глубины 1 м содержание колеблется в пределах 0,028–0,032 мг/кг.



а



б

Рис. 5. Завод «Радикал»: а – общий вид территории бывшего завода; б – ртуть в почве (фото – Панаит Э. В.)

На территории бывшего завода «Радикал» зафиксированы геохимические ореолы ртути, где максимальное содержание в верхнем слое почв (0–10 см) составляет 17 мг/кг, на глубине 10–20 см – 5 мг/кг, на глубине 1 м – 0,06 мг/кг. Это указывает на преобладание техногенного поступления ртути над естественным, из материнских пород. Такие соединения ртути, как сульфиды, фосфаты, карбонаты, характеризуются низкой растворимостью, поэтому природное поступление ртути в почву невелико.

При построении карты изолиний концентрации ртути (рис. 6) было выявлено две площадные аномалии. Первая – с максимальным содержанием в верхнем слое почв 8 мг/кг приурочена к месту расположения бывшего электролизного цеха, вторая – более контрастная, с максимальным содержанием ртути 17 мг/кг к юго-восточной территории завода.

Рассматривая содержание ртути в растениях необходимо подчеркнуть, что аккумуляция ртути происходит в верхних горизонтах почв (0–10 см). Ранее

виявлено, що зв'язь органічного речовини і ртуті набагато прочнее, чем с минеральними компонентами ґрунту, благодаря чому ртуть даже при високих дозах не причиняє шкоди рослинам, и не накоплюється в них в токсических концентрациях [7]. Фоноевое содержание ртуті в рослинах Киевской области составляет от 0,001 до 0,04 мг/кг сухого вещества. В растения ртуть может поступать из почвы, и из атмосферы (в этом случае листья являются ее концентраторами). Для большинства растений предельно допустимой является концентрация ртуті в почве 3 мг/кг.

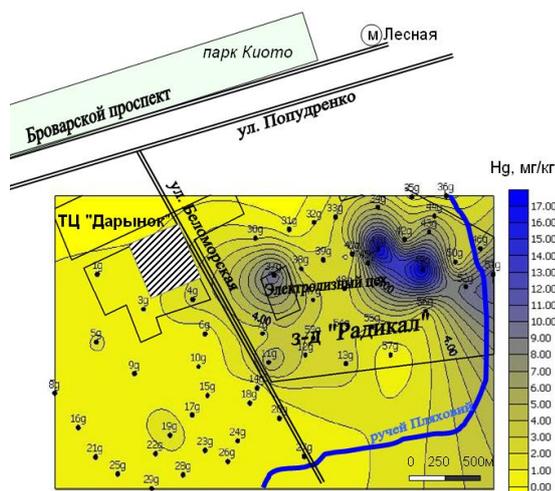
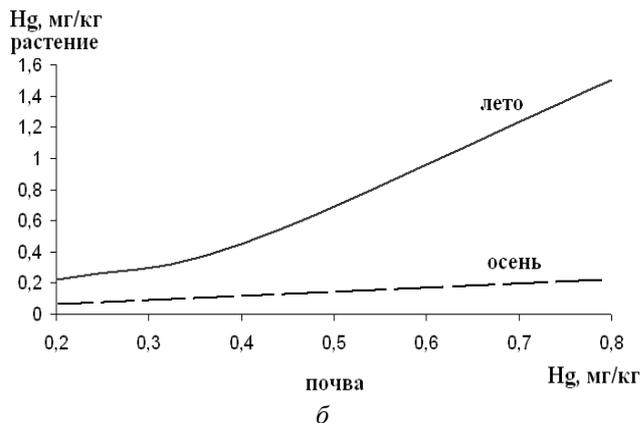


Рис. 6. Схема изолиний концентраций ртути в почвах территории бывшего завода «Радикал» (глубина отбора 0–10см)

На территории завода «Радикал» наиболее распространенным растением является дикорастущий паслен черный (*Solanum nigrum* L.) – яровой травянистый однолетник высотой до 100 см (рис. 7, а). Отобраны образцы листьев паслена в разное время года (летом, при температуре воздуха 28 °С и осенью, при температуре воздуха 12 °С).



а



б

Рис. 7. Содержание ртути в паслене черном: а – общий вид паслена черного; б – график зависимости содержания ртути в листьях паслена и в почве

Содержание ртути в листьях паслена коррелирует с содержанием ртути в почве (рис. 7, б). Для сравнения аккумулирующей способности растений были рассчитаны коэффициенты накопления (КН), которые равны отношению содержания элемента в растении к его концентрации в почве (табл. 1).

Таблица 1

Содержание и коэффициенты накопления ртути в почве и растении

Hg, мг/кг Почва	Hg, мг/кг растение		КН лето	КН осень
	лето	осень		
0,2	0,22	0,1	1,1	0,5
0,4	0,45	0,12	1,12	0,3
0,8	1,5	0,15	1,9	0,2

С увеличением содержания ртути в почве осенью КН листьями паслена снижается, что обусловлено аккумуляцией соединений элемента в корнях. В летний период времени листья растения захватывают ртуть при ее испарении и КН увеличивается.

**5. Выводы**

В результате геохимических исследований почв и растений техногенно загрязненных территорий – Яворовского военного полигона Львовской области (участки стрельбище, танкодром, полевой парк, переправа) и бывшего завода «Радикал» (г.Киев) выявлены геохимические аномалии элементов (цинка и ртути) в почвах, особенности распределения и накопления токсичных элементов в поверхностных отложениях, установлены зависимости их поведения в системе «почва-

растение». Определено, что аккумуляция техногенных элементов происходит в верхних горизонтах почв (0–10 см).

**Литература**

1. Підлісна, М. С. Екологічна безпека військ [Текст] / М. С. Підлісна, І. Г. Мазор, Б. А. Катеринчук та ін. – К.: Мінво Оборони України, 1998. – 130 с.
2. SOS: Завод "Радикал" – ртутный "Чернобыль" в столице Украины [Электронный ресурс] // – Режим доступа: <http://oleksiy-b.livejournal.com/2196.html>
3. Махкамов, М. М. Охорона природнього середовища у Збройних Силах України [Текст] / М. М. Махкамов, А. М. Павлюк, М. О. Побілян. – К.: Варта, 1998. – 450 с.
4. Радецький, В. Г. Основи стратегії національної безпеки та оборони держави [Текст] / В. Г. Радецький, О. П. Дузь-Крятченко, В. М. Воробйов. – К.: НУОУ, 2009. – 596 с.

5. Гроз, Х. Бензиновые и дизельные двигатели [Текст] / Х. Гроз, Г. Русс. – М.: За рулем, 2013. – 272 с.
6. Звонарев, Б. Л. Закономерности распределения ртути в почвах вблизи источника загрязнения [Текст] / Б. Л. Звонарев, Н. Г. Зырин // Почвоведение. – 1981. – № 4. – С. 32–39.
7. Обуховская, Т. Д. Zn, Cd, Hg, Pb в системе почва-растение [Текст] / Т. Д. Обуховская, Е. В. Каплунова, А. В. Сердюкова // Бюллетень почвенного института имени В. В. Докучаева. – 1983. – Вып. 35. – С. 27–32.

#### References

1. Pidlisna, M. S., Mazor, I. G., Katerynychuk, B. A. et. al (1998). Ekologichna bezpeka vijs'k. Kyiv: Min-vo Oborony Ukrainy, 130.

2. SOS: Zavod "Radikal" – rtutnyj "Chernobyl" v stolice Ukrainy. – Available at: <http://oleksiy-b.livejournal.com/2196.html>
3. Mahkamov, M. M., Pavljuk, A. M., Pobiljan, M. O. (1998). Ohorona pryrodn'ogo seredovyshha u Zbrojnyh Sylah Ukrainy. Kyiv : Varta, 450.
4. Radeck'kyj, V. G., Duz'-Krjatchenko, O. P., Vorobjov, V. M. (2009). Osnovy strategii' nacional'noi' bezpeky ta oborony derzhavy. Kyiv: NUOU, 596.
5. Groje, H., Russ, G. (2013). Benzinovye i dizel'nye dvigateli. Moscow : Za rulem, 272.
6. Zvonarev, B. L., Zyrin, N. G. (1981). Zakonomernosti raspredelenija rtuti v pochvah vblizi istochnika zagryaznenija. Pochvovedenie, 4, 32–39.
7. Obuhovskaja, T. D., Kaplunova, E. V., Serdjukova, A. V. (1983). Zn, Cd, Hg, Pb v sisteme pochva-rastenie. Bjulleten' pochvennoho instituta imeni V. V. Dokuchaeva, 35, 27–32.

Дата надходження рукопису 22.06.2015

**Крюченко Наталия Олеговна**, ведучий научный сотрудник, старший научный сотрудник, доктор геологических наук, Отдел поисковой и экологической геохимии, Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семеново НАН Украины, пр. Акад. Палладина, 34, г. Киев, Украина, 03680  
E-mail: nataliya-kryuchenko@mail.ru

**Жовинский Эдуард Яковлевич**, Член-корреспондент НАН Украины, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий отделом поисковой и экологической геохимии, Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семеново НАН Украины, пр. Акад. Палладина, 34, г. Киев, Украина, 03680  
E-mail: zhovinsky@ukr.net

**Панаит Элина Викторовна**, младший научный сотрудник, Отдел поисковой и экологической геохимии, Институт геохимии, минералогии и рудообразования им. Н.П. Семеново НАН Украины, пр. Акад. Палладина, 34, м. Киев, Украина, 03680  
E-mail: elinka8@mail.ru

**Андриевская Елена Анатольевна**, заместитель директора по научной работе, Средняя школа №109 им. Т. Г. Шевченка, ул. Панаса Мирного, 24, г. Киев, Украина, 01011  
E-mail: andrlena@yandex.ru

УДК 556.3:551.435.82

DOI: 10.15587/2313-8416.2015.46954

## ГІДРОГЕОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ КАРБОНАТНОГО КАРСТУ

© В. В. Сухов, В. Г. Суярко, О. О. Сердюкова

*На прикладі мергельно-крейдяної товщі верхньої крейди (K<sub>2</sub>st) Святогірської брахіантикліналі встановлено, що карбонатний карст утворюється за участі різних за динамікою та хімічним складом підземних вод.*

*Охарактеризовано основні хімічні реакції, що призводять до вилугування і розчинення карбонатних порід в процесі їхньої взаємодії з підземними водами. Обґрунтовано геологічні, гідрогеологічні та геохімічні умови формування різних морфогенетичних видів карсту – приповерхневого (епікарсту) та глибинного (гіпокарсту)*

**Ключові слова:** підземні води, карбонатні породи, карстоутворення, вилугування, розчинення, діоксид вуглецю, епікарст, гіпокарст, хімічна денудація, сорбція

*On the example of loamy-chalky Upper Cretaceous strata (K<sub>2</sub>cm) of Sviatogirsk brachyantycline it has been found out that carbonate karst forms with the participation of different on dynamics and chemical composition kinds of groundwater.*

*Basic chemical reactions that lead to leaching and dissolution of carbonate rocks during their interaction with groundwater have been characterized. Geological, hydrogeological and geochemical conditions of formation of various morphogenetic types of karst – surface (epikarst) and deep (hypokarst) have been well-grounded*

**Keywords:** ground water, carbonate rocks, karstification, leaching, dissolution, carbon dioxide, epikarst, hypokarst, chemical denudation, occlusion