

Содержание тяжелых металлов в средах и объектах эколого-геохимических зон Крыма

Радченко А. И.

Институт геохимии, минералогии и рудообразования НАН Украины, Киев

Рассмотрено распределение некоторых тяжелых металлов в системах "порода – почва – биос" и "порода – почва" на участках влияния природных и антропогенных источников на территории разных ландшафтно-геохимических зон Крыма.

Вступление. Территория Украины характеризуется значительной интенсивностью техногенной нагрузки, превышающей более чем в три раза таковую в странах ЕС. Эта различная по типам нагрузка распределяется весьма неравномерно как в пределах страны, так и отдельного региона. В этом отношении показательной является территория Крыма, в пределах которой наряду с практически чистыми территориями заповедников широко распространены участки рекреационного, селитебного, сельскохозяйственного, автодорожного, карьерного типов и локально – интенсивной техногенной (химическая, машиностроительная промышленность и т. п.) нагрузки. По геологическому строению и ландшафтно-геохимическим параметрам в Крыму выделяют Южнобережную, Горную, Предгорную, Степную зоны, Присивашье и Керченский п-ов. Исследование проводилось в первых четырех зонах, существенно разных по типам природных и антропогенных источников тяжелых металлов (ТМ) [9, 13].

На территории Крыма, начиная с 1950-х гг. сотрудниками КО УкрГГРИ (ранее – УкрГИМР) и ГПП "Крымгеология" выполнен большой объем лито-, гидро- и атмосферогеохимических исследований. До 1990-х гг. эти исследования были связаны, преимущественно, с прогнозно-поисковыми, геологосъемочными и инженерно-геологическими работами.

В начале 1990-х гг. выдвинулось новое – эколого-геохимическое направление. Было проведено ландшафтное районирование территории Крыма (В. В. Ермоленко и др., 1993), разработаны основы создания мониторинга в сложных геоэкологических условиях (А. В. Лушчик и др., 1994), созданы региональные стандартные образцы состава почв и донных осадков (Ю. А. Полканов и др., 1995), проведены работы по изучению динамики техногенных изменений (А. К. Авгитов и др., 1995) и созданию модели "геосистема Крым" (С. В. Пивоваров и др., 1995). Для изучения техногенно-загрязненных территорий широко использовалась ртутметрия (В. И. Морозов, 1990, 1992). Детальные исследования почв и пород зоны аэрации с целью установления закономерностей распределения в них ТМ и их подвижных форм были проведены на участках наибольшей техногенной нагрузки, например, Керченского (Ю. А. Полканов и др., 1991) и Сакского промышленных узлов (Ю. А. Полканов и др., 1991; Ю. А. Новиков и др., 1991; Е. М. Зеликман и др., 1994). В северной части Крыма проведено эколого-геохимическое картирование масштаба 1 : 200000. Комплексное исследование районов предприятий химической, горнодобывающей,

энергетической и металлургической промышленности, сельскохозяйственного производства, автострад и железнодорожных магистралей стало основой типизации эколого-геохимических изменений природной среды Крыма (Ю. А. Новиков и др., 1994) [11]. Этими же исследователями была составлена классификация основных техногенных систем Крыма, произведена принципиальная разбивка природных и техногенных аномалий на основе изучения геологической и биотической составляющей экосистем в целом. Дальнейшее изучение территории Крыма должно идти по пути детализации изучения экосистем с разным уровнем антропогенной нагрузки и установления зависимости между преобладающим направлением миграции поллютантов и типом почв и геологического субстрата.

Проведенное нами исследование распределения, миграции и концентрации ТМ в экосистемах позволяет не только сделать выводы о значении каждого из компонентов локальных систем в указанных процессах, но и рекомендовать предложенную методику к применению при региональных эколого-геохимических работах, проводимых с целью выделения приоритетных поллютантов на участках разного уровня загрязнения.

Объекты и методы исследования.

Непосредственный объект данного исследования – пробы, систематически отобранные в экосистемах: почвообразующая порода – почва – биос (наземная растительность) в различных эколого-геохимических зонах Крыма. Опробование проводилось автором во время полевых работ в 2000–2001 гг. По общепринятой методике [3] исследовано около 200 проб, включающих преобладающие на территории указанных ландшафтно-геохимических зон типы почвообразующих пород и почв.

Определение содержания ТМ проведено спектральным анализом на 48 элементов: в породах и почвах непосредственно, в биосе после озоления (результаты, приводимые в статье, пересчитаны через коэффициент озоления на массу воздушно высушенной пробы). Аналитические работы выполнены в спектральной лаборатории Крымского отделения Украинского государственного геолого-разведывательного института аналитиком Г. Н. Рейн.

Всего в пробах определено до 36 элементов, однако распределение только 10 из них рассмотрено в данной статье. Это наиболее распространенные элементы первого (Hg, Pb, Zn, Be) и второго (Cu, Co, Ni, Mo, Cr, Ag) классов опасности [6, 12].

В основе интерпретации полученных данных лежит представление об эксклюзивном и устойчивом содержании химических элементов в разнотипных породах, рассматриваемых в пространственно-временных координатах (порода определенного типа и геологического возраста в пространстве конкретной эколого-геохимической зоны).

В настоящее время многие ученые, исследуя распределение и миграцию отдельных элементов в ландшафтообразующих системах, все чаще обращаются не к ПДК, а к кларковому или среднему региональному (фоновому) содержанию, широко используя коэффициенты концентрации для оценки состояния среды. Связано это с неудовлетворительной разработкой нормативов и невозможностью с помощью ПДК учитывать природные геохимические особенности конкретных территорий. Этот вопрос подробно рассмотрен во многих работах Э. Я. Жовинского и его коллег, в частности за последние годы [4, 5], где детально обоснована недостаточность и необъективность такого подхода при решении эколого-геохимических задач.

Именно поэтому основной характеристикой помимо коэффициента концентрации K_k нами принят коэффициент аккумуляции, поэлементно рассчитанный для смежных компонентов экосистем ($Ka1$ – отношение концентрации в почве к концентрации в породе, $Ka2$ – отношение концентрации в биосе к концентрации в почве). При этом, исходя из работ [7, 10] значения $Ka2$, равные сотым и тысячным долям, интерпретируются как характеризующие нормально-достаточную (фоновую) концентрацию, а равные десяткам долям – как избыточную (аномально повышенную).

Для всех эколого-геохимических зон $Ka2$ рассчитан только по листьям и хвое древесно-кустарниковой растительности: можжевельник древовидный (*Juniperus excelsa* В. М.); сосна Палласова, крымская (*Pinus Pallasiana* Lamb.); дуб пушистый (*Quercus pubesceus* Willd.); лавровишня (*Prunus Laurocerasus* L.); персик (*Persica vulgaris* Mill); грабинник (*Carpinus orientalis* Mill).

Степень экологического риска территории определена с помощью интегрального показателя загрязнения: $Z_c = \sum K_k - (n-1)$, где K_k – отношение содержания в пробе почвы к фоновому содержанию, n – количество металлов, коэффициенты которых суммируются [1, 11, 14, 16]. В случае, когда в одном из компонентов экосистемы не был установлен элемент, для расчета K_k принималось значение его содержания ниже чувствительности анализа (данные в скобках, мг/кг): Zn – 5,0 (1,0); Ag – 0,005 (0,001); Co – 0,5 (0,1); Mo – 0,05 (0,01); Be – 0,5 (0,1); Hg – 0,0005 (0,0001).

Комплексное применение изложенных методов опробования, анализа и интерпретации полученных данных позволило проследить движение отдельных элементов в экосистеме, наметить среди них приоритетные для разных типов антропогенных аномалий, установить их концентрацию, а также количественно определить степень техногенного загрязнения среды.

Результаты и их обсуждение. Подсчитанное суммарное валовое содержание исследуемых металлов в разных компонентах экосистем изменяется от единиц до сотен миллиграммов на килограмм. Наиболее высокие (первые сотни) значения установлены для песчано-глинистых пород и развитых на них почв, меньшие (десятки) – для карбонатных пород и почв над ними и минимальные (единицы) – в биосе. Уровни содержания ТМ во всех исследованных компонентах экосистем приведены в табл. 1.

Почвообразующие породы представлены песчано-глинистыми и карбонатными образованиями. Региональное среднее содержание рассматриваемых ТМ в песчано-глинистых породах ниже кларкового, соответствующие значения концентрации составляют 0,9–0,2. По абсолютным значениям элементы образуют убывающий ряд: Cr, Zn, Ni, Pb, Cu, Co (десятки миллиграммов на килограмм) – Be, Mo (единицы) – Hg, Ag (сотые доли).

Среднее содержание ТМ в карбонатных осадочных породах также, обычно, не превышает кларковое [2, 6], K_k изменяется в пределах 0,16–1,0 и только для Cr и Cu составляет 1,2 и 10,0. Убывающий ряд по абсолютному содержанию таков: Cr, Ni (десятки миллиграммов на килограмм) – Pb, Cu (единицы) – Be, Hg, Ag (десятые и сотые доли). Zn, Co, Mo в анализируемых пробах не установлены.

По значению суммарного содержания ТМ песчано-глинистые и карбонатные породы образуют убывающий ряд от древних к молодым, однако для карбонатных пород определяющей все же служит степень их глинистости – с увеличением количества глинистой составляющей повышается и суммарное содержание ТМ.

Наиболее распространены почвы в регионе – черноземы, развитые на песчано-глинистых и карбонатных породах. Среди них установлено восемь разновидностей, однако учитывая региональный уровень исследований, можно ограничиться наименованием типа – чернозем южный. Кроме того, выделены бурые горные почвы на известняках (Горный Крым) и коричневые на песчано-глинистых сланцах (ЮБК) [9]. Среднее региональное содержание в почвах Hg выше кларкового в 9 раз, Pb, Cu, Co – в 1,3–2,5; остальные металлы – на уровне кларка или несколько ниже [2, 6]. Среднее содержание ТМ в отдельных типах почв обычно не превышает регионального фонового. Только в коричневых почвах коэффициент концентрации Pb, Zn, Co, Ni и Hg превышает 1. Содержание ТМ в почвах, подвергшихся техногенному влиянию, превышает фоновое в 1,5–3,3 раза и соответствует второму, низкому, уровню загрязнения [12, 16]. В почвах, развивающихся на известняках и мергеле, концентрация ТМ выше, чем в почвообразующей породе, тогда как содержание в песчано-глинистых породах и развитых на них почвах практически одинаково. По значению суммарного содержания ТМ почвы образуют убывающий ряд, мг/кг: коричневая (360,0) – чернозем на песчано-глинистых породах (187,2) – бурая (169,5) – чернозем на карбонатных породах (57,8).

Таблица 1

Уровни содержания ТМ в компонентах экосистемы, мг/кг

Компонент экосистемы	Уровень содержания		
	>10,0	1,0–9,0	0,9–0,01
Песчано-глинистые породы	Cr (73,0), Zn (58,0), Ni (41,6), Pb (18,6), Cu (17,0), Co (13,2)	Be (2,0), Mo (1,0)	Hg (0,09), Ag (0,05)
Почва коричневая	Zn (140,0), Cr (57,0), Ni (40,0), Pb (31,2), Cu (19,0), Co (15,7)	Be (2,0)	Mo (0,9), Hg (0,1), Ag (0,05)
Чернозем на песчано-глинистых породах	Cr (48,2), Zn (48,0), Ni (40,0), Pb (21,3), Cu (17,0), Co (13,4)	Be (1,8)	Mo (0,9), Hg (0,09), Ag (0,05)
Почва бурая	Zn (47,0), Cr (39,0), Ni (29,4), Pb (21,0), Cu (19,0), Co (11,0)	Be (1,9)	Mo (0,8), Ag (0,08), Hg (0,05)
Карбонатные породы	Cr (13,6), Ni (11,8)	Pb (4,4), Cu (3,7)	Be (0,6), Hg (0,035), Ag (0,01)
Чернозем на карбонатных породах	Cr (17,5), Ni (13,2)	Cu (9,5), Zn (7,5), Pb (6,5), Co (3,6)	Ag (0,08), Hg (0,06)
Биос	–	Zn (4,4), Cu (3,0), Pb (1,4)	Ni (0,8), Cr (0,8), Mo (0,16), Ag (0,02)
Листья и хвоя древесно-кустарниковой растительности	–	Zn (3,5), Cu (2,2), Pb (1,4)	Ni (0,6), Cr (0,4), Mo (0,07), Ag (0,02)

Примечание. В скобках приведено фоновое содержание металла, мг/кг

Таблица 2

Коэффициенты аккумуляции ТМ на участках зоны ЮБК

Металл	Источник загрязнения						
	Рудопроявление	Автодорога			Рекреационная зона		
		Ka1	Ka1	Ka2*	Ka2**	Ka1	Ka2*
Zn	1,1	1,5	0,026	0,013	0,15	0,26	0,3
Cr	0,9	1,25	0,007	0,005	0,4	0,02	0,03
Ni	0,8	1,6	0,014	0,004	0,4	0,04	0,02
Pb	2,3	2,7	0,035	0,035	1,7	0,07	0,07
Cu	1,1	1,0	0,08	0,08	0,8	0,2	0,2
Co	1,25	1,3	Не опр.	Не опр.	0,7	Не опр.	Не опр.
Be	1,1	0,8	" "	" "	0,7	" "	" "
Hg	0,4	0,7	" "	" "	0,3	" "	" "
Mo	1,3	1,25	0,09	0,07	0,6	0,2	0,1
Ag	0,8	0,7	0,5	2,0	2,6	0,45	0,6

Примечание. Здесь и далее Ka1 рассчитан как отношение содержания в почве к содержанию в породе; Ka2 – отношение содержания в биосе к содержанию в почве. *Ka2 – отношение содержания металла в листьях к содержанию в почве, ** аналогично содержанию в хвое

Таблица 3

Коэффициенты аккумуляции ТМ на участках зоны Горного Крыма

Металл	Источник загрязнения					
	Рекреационная зона		Известняковый карьер		Военно-технич. полигон	
	Ka1	Ka2**	Ka1	Ka2**	Ka1	Ka2**
Zn	20,0	0,09	10,4	0,027	44,0	0,07
Cr	3,2	0,02	2,0	0,01	5,0	0,01
Ni	3,9	0,03	2,2	0,01	4,3	0,016
Pb	2,5	0,03	4,2	0,06	17,7	0,03
Cu	3,7	0,2	3,4	0,07	7,1	0,1
Co	10,0	–	4,6	–	11,0	–
Be	1,2	–	2,0	–	6,3	–
Hg	0,8	–	8,5	–	3,7	–
Mo	1,0	0,04	0,9	0,01	2,9	0,02
Ag	0,04	0,5	3,2	0,04	3,5	0,002

Для исследования распределения ТМ в биосе (растительности суши) опробованы мох, наземная и корневая части трав, листья, древесина и хвоя древесно-кустарниковой растительности. В золе не установлены Hg и Be. Среднее содержание Pb, Zn, Co, Mo, Cr, Ag ниже кларкового, а Ni и Cu несколько выше, однако не достигает уровня избыточной (токсичной) концентрации в листьях растений [6].

По значению суммарного содержания ТМ разные типы растений и их части образуют убывающий ряд: корни трав – наземная часть трав – листья – древесина – хвоя – мох. Ряд по убыванию содержания, образуемый элементами, аналогичен для всех типов растений и их частей и существенно отличается от рядов для почвообразующих пород и почв.

Тяжелые металлы в системах "порода – почва – биос" и "порода – почва" на участках с разной антропогенной нагрузкой. Зона ЮБК характеризуется единообразием почвообразующих пород и развитых на них почв – это коричневые почвы на песчано-глинистых сланцах таврической серии (верхний триас – нижняя юра). Пробоотбор проведен на трех участках с разными типами загрязнения – рекреационным, автодорожным и природным (полиметаллическое рудопоявление). В подсистеме порода – почва среднее содержание Pb, Cu, Zn, Co, Ag выше в почве, Cr, Ni, Be, Hg – в породе и только Mo установлен в равных количествах. Это позволяет рассматривать его как наименее мобильный элемент; Pb, Cu, Zn, Co, Ag следует отнести к элементам накопления для этого типа почвы, а Cr, Ni, Be, Hg – к элементам выноса, наиболее активным в данных условиях.

Среднее суммарное содержание ТМ в породах незначительно выше, чем в почвах. В обоих компонентах содержание ТМ первого класса опасности несколько ниже, чем второго. Убывающие ряды содержания идентичны по расположению и уровню концентрации элементов, что может служить подтверждением основной роли почвообразующих пород в формировании микроэлементного состава почв. Убывающий ряд элементов в биосе существенно отличается от рядов для пород и почв. Очевидно, это различие связано с тем, что почва не является единственным и преобладающим источником ТМ для растений, значительная часть их поступает, сорбируясь из атмосферы и оседая в виде аэрозольных частиц [8, 15]. Эти ряды выглядят следующим образом, мг/кг: *почвообразующая порода*: Zn (105,0) – Cr (71,5) – Ni (47,5) – Cu (21,0) – Pb (15,5) – Co (14,7) – Be (2,2) – Mo (0,9) – Hg (0,23) – Ag (0,04); *почва*: Zn (84,0) – Cr (57,0) – Ni (40,0) – Pb (31,2) – Cu (19,0) – Co (15,7) – Be (2,0) – Mo (0,9) – Hg (0,1) – Ag (0,05); *биос*: Zn (3,7) – Cu (2,3) – Pb (1,4) – Ni (0,6) – Cr (0,56) – Mo (0,09) – Ag (0,02).

Распределение ТМ в экосистемах с различной нагрузкой характеризуется значительным возрастанием суммарного абсолютного содержания в почвах на участках автодорожной и природной аномалий, составляя соответственно 418,6 и 311,8 мг/кг (для рекреационной зоны – 232,2). Соответственно и Ка для всех элементов в почвах рекреационной зоны менее или равны 1; тогда как в автодорожной для Pb, Zn, Co, Ni, Mo составляют 1,25–2,7; природной аномалии для Pb, Mo, Co – 1,25–2,3 (табл. 2).

В биосе вблизи автодороги накапливается из установленных металлов только Ag. В рекреационной зоне – Cu, Zn, Mo и Ag. Отмечено небольшое превышение содержания всех металлов в листьях относительно хвои, а среди первых более интенсивное накопление свойственно жестколистым растениям (дуб, лавровишня).

К особенностям данной зоны следует отнести исходное высокое фоновое содержание ТМ в почвообразующих породах и, как следствие – в почвах. Несмотря на это, происходит накопление отдельных элементов в почвах ($Ka1 > 1$) и в биосе ($Ka2 > 0,1$) на участках с источниками загрязнения разных типов. При установленных малых значениях концентрации связей между накоплением в почвах и растениях не прослеживается.

Интегральный показатель загрязнения почв составляет для участка рудопоявления 2,9, для участка вблизи автодороги – 5,7, для рекреационной зоны – менее 1, что позволяет отнести территорию зоны ЮБК к условно чистым, а экологические условия – к благоприятным (только вблизи автодороги категория загрязнения почв слабая).

Зона Горного Крыма. В этой зоне опробованы компоненты территориально наиболее распространенных экосистем: почвообразующие породы – карстующиеся верхнеюрские известняки; почвы – бурые горно-лесные и горно-луговые; биос – хвоя и листья древесной растительности. Опробование проведено на трех участках: военном-техническом полигоне, карьере по разработке известняка и в рекреационной зоне.

Суммарное содержание исследуемых металлов в почвах этих участков составляет 189, 179 и 114 мг/кг, что превышает суммарное содержание в породе в 10,4 – 4,5 раза. На элементы первого класса опасности в почвах этих участков приходится до 43 %.

Суммарное содержание ТМ в биосе на тех же участках составляет 13,3 мг/кг в листьях, в хвое – 6,6, 4,6 и 4,8 мг/кг соответственно. Более высокое содержание ТМ в листьях, сорбирующая поверхность которых значительно больше, чем у хвои, может служить подтверждением их преимущественного поступления из атмосферы [15].

Ряды по убыванию содержания различны для пород и почвы и резко отличаются от ряда для биоса, мг/кг: *порода*: Cr (12,5) – Ni (10,1) – Cu (3,5) – Pb (2,4) – Zn (2,0) – Co (1,0) – Be (0,4) – Mo (0,2) – Ag, Hg (0,02); *почва*: Zn (47,0) – Cr (39,2) – Ni (29,4) – Pb (21,0) – Cu (19,0) – Co (11,0) – Be (1,9) – Mo (0,8) – Ag (0,08) – Hg (0,07); *биос*: Zn (3,8) – Cu (2,0) – Pb (1,0) – Ni (0,7) – Cr (0,6) – Mo (0,1) – Ag (0,007).

Значения коэффициента аккумуляции, представленные в табл. 3, в почве относительно породы на исследованных участках для всех элементов превышают 2, причем на участке военного полигона они значительно выше, чем на двух других.

Подсчитанный для оценки степени загрязнения экосистем интегральный показатель содержания ТМ в почвах (Zc) равен: для военного полигона – 58,2; для участка известнякового карьера – 64,7; для рекреационного участка – < 1. Это позволяет охарактеризовать состояние почв первых двух участков как опасное, а экологиче-

Кoeffициенты аккумуляции ТМ на участках зоны Предгорного Крыма

Металл	Тип источника загрязнения и субстрат ландшафта												
	Сельскохозяйственный					Селитебный					Автомобильный	Карьерный	Рекреационный
	Мергель N		Мергель K			Известняк P		Глина K	Известняк P	Глина K	Песч.-гл. сланцы J		
	Ka1	Ka2*	Ka1	Ka2*	Ka2**	Ka1	Ka2*	Ka2**	Ka1	Ka1	Ka1	Ka1	Ka1
Zn	50,00	0,04	10,00	0,25	0,40	10,00	0,30	0,20	10,00	0,60	10,00	0,30	0,60
Cr	3,10	0,02	1,00	0,07	0,03	1,00	0,10	0,05	2,10	0,80	2,10	0,80	0,80
Ni	2,30	0,01	0,96	0,08	0,04	1,20	0,08	0,05	2,40	1,00	2,40	0,60	1,00
Pb	3,60	0,05	1,30	0,04	0,20	1,30	0,30	0,50	2,00	1,00	2,00	0,60	1,00
Cu	4,00	0,12	3,10	0,30	0,10	2,50	0,40	0,40	4,00	0,80	4,00	1,00	0,80
Co	6,40	Не опр.	2,00	Не опр.	Не опр.	4,00	Не опр.	Не опр.	6,30	2,00	6,30	0,50	2,00
Be	2,30	" "	Не опр.	" "	" "	Не опр.	" "	" "	Не опр.	1,00	Не опр.	0,60	1,30
Hg	48,00	" "	6,00	" "	" "	11,00	" "	" "	0,05	0,80	0,05	3,00	1,00
Mo	0,80	0,08	Не опр.	0,80	0,03	Не опр.	0,13	0,04	Не опр.	1,20	Не опр.	0,60	1,00
Ag	0,03	0,70	0,03	0,70	1,30	0,03	0,60	0,60	0,02	2,60	0,02	0,50	3,00

Таблица 5

Кoeffициенты аккумуляции ТМ (Ka1) на участках зоны Степного Крыма

Металл	Тип источника загрязнения					
	Рекреационный	Машиностроит.	Сельскохозяйственный			Химический
	1	2	3	2	1	1
Zn	0,60	3,80	2,00	1,25	1,25	3,10
Cr	0,60	0,50	1,00	0,60	0,80	0,80
Ni	0,08	1,00	1,00	1,00	1,00	0,60
Pb	0,75	4,80	1,70	0,80	1,00	2,00
Cu	1,00	2,70	1,30	1,00	1,00	26,70
Co	0,80	2,10	1,00	1,00	1,30	0,80
Be	0,75	0,95	1,00	1,00	1,00	0,60
Hg	1,00	10,00	2,50	0,75	0,30	10,50
Mo	1,40	2,00	1,00	0,75	2,00	1,70
Ag	0,80	16,00	1,00	0,80	1,20	6,00

Примечание. Цифрами обозначен субстрат ландшафта: 1 – глины красно-бурые N₂; 2 – лессовидные суглинки Q; 3 – глины серые N₂

ские условия напряженные. Экологические условия рекреационного участка благоприятные. Высокий уровень содержания ТМ в почве, по сравнению с почвообразующими карбонатными породами, может служить показателем роли их исходного содержания в процессе педогенеза. При прочих равных условиях, но низком исходном фоновом содержании, унаследованном от почвообразующих пород, возрастает потенциальная емкость почвы, интенсифицируется закрепление в ней металлов, поступающих из смежных атмо- и гидросфер, до достижения уровня глобального фонового значения. При наличии дополнительных антропогенных источников загрязняющих веществ формируются стойкие аномальные поля поступающих ТМ, что видно при сопоставлении экосистем Горного Крыма. Тот факт, что в почвообразующих породах, находящихся, как и почвы, в зоне аэрации и интенсивного водообмена, не происходит изменение уровня содержания ТМ, объясняется инертностью протекающих в них геохимических процессов.

Несмотря на то, что содержание ТМ в почвах и биосе данной зоны не превышает ПДК и токсичную концентрацию [6], уровень загрязнения почв в непосредственной близости от источника попадает в категорию "опасный".

Зона Предгорного Крыма. На территории этой зоны почвообразующими служат глинистые и карбонатные породы разного возраста, на элювио-делювии которых образуется чернозем южный. Система порода – почва – биос исследована на восьми участках: пять с карбонатными почвообразующими породами разного состава и возраста и три – с песчано-глинистыми. В трех случаях отбор проб проводился на участках вблизи источника загрязнения (сельскохозяйственный, автомобильный, карьерный) и вдали от него, но с аналогичными геологическими условиями, в селитебной или рекреационной зоне (табл. 4).

На первом участке с сельскохозяйственным типом загрязнения почвообразующие породы – сильно глинистые мергели, на которых залегает хорошо развитый чернозем. Суммарное валовое содержание ТМ в породах составляет 48,3 мг/кг, на элементы I класса опасности приходится до 14 %. В почвах оно значительно выше: 204,3 мг/кг, элементов I класса – до 36 %, в биосе соответственно 6,9 мг/кг и 43,5 %.

Ряды по убыванию содержания ТМ в породах, почвах и биосе резко различны, мг/кг: *порода:* Ni (17,5) – Cr (16,0) – Pb (5,6) – Cu (5,0) – Co (3,1) – Be (1,1) – Hg (0,02) – Ag (0,01) – Zn, Mo (не обнаружены); *почва:* Zn, Cr (50,0)

Таблица 6

ТМ в почвах и биосе аномальных полей различных техногенных источников

Тип источника загрязнения	Ландшафтно-геохимическая зона			
	ЮБК	Горная	Предгорная	Степная
Рекреационные районы	Pb, Ag Ag	Mo He уст.	- Hg, Cr, Ni, Co, Be	- He уст.
Селитебные районы городских агломераций	-	-	- Cr, Ni, Ag, Zn, Pb, Co, Be, Hg	-
Автотрассы	Ni, Pb, Ag Zn, Ni, Cr, Pb, Co, Be, Hg, Mo	-	- Hg	-
Сельскохозяйственные районы	-	-	Cr, Ni, Pb, Ag -	- Zn, Cr, Ni, Pb, Hg, Mo, Co, Be
Карьеры по добыче стройматериалов	-	He уст. Zn, Cr, Ni, Pb, Cu, Co, Be, Mo, Ag, Hg	- Cr	-
Промышленное производство	-	He уст. Zn, Cr, Pb, Cu, Co, Be, Hg, Mo, Ni, Ag	-	- Cu, Hg, Zn, Cr, Be, Pb, Mo, Ag

Примечание. Элементы, коэффициенты концентрации которых > 1: в числителе – в биосе, в знаменателе – в почве. Полуужирным шрифтом выделены элементы с Кк > 3, тире – не определяли, не уст. – отсутствуют элементы с Кк > 1

– Ni (40,0) – Co, Pb, Cu (20,0) – Be (2,5) – Hg (0,96) – Mo (0,8) – Ag (0,03); биос: Cu (2,5) – Zn (2,0) – Pb (1,0) – Cr (0,8) – Ni (0,5) – Mo (0,06) – Ag (0,02).

На втором и третьем участках почвообразующие породы представлены верхнемеловыми мергелями, а почвы – южными черноземами. Участки расположены в зонах загрязнения сельскохозяйственного и селитебного типов соответственно. Среднее содержание ТМ в породах и почвах несколько ниже, чем на первом участке, а содержание в биосе практически такое же. В породах суммарное содержание составляет 36,2 мг/кг, на элементы I класса опасности приходится до 17 %. В почвах в зоне сельскохозяйственного загрязнения – 53,9 мг/кг, элементов I класса – до 31 %; в зоне селитебного загрязнения – 58,3 мг/кг и 28 %. В биосе, в листьях и хвое, на втором участке 6,4 и 5,6 мг/кг, на третьем – 11,4 и 10,0. Ряды по убыванию содержания ТМ в породе на обоих участках одинаковы, но отличаются от рядов для почвы и биоса, мг/кг: порода: Cr (15,0) – Ni (12,0) – Pb (5,0) – Cu (3,2) – Be (1,0) – Hg (0,006) – Zn, Co, Mo, Ag (не обнаружены); почва сельскохозяйственного участка: Cr (15,0) – Zn (10,0) – Cu (10,0) – Ni (8,0) – Pb (6,3) – Hg (0,07) – Ag (0,03) – Co, Mo, Be (не обнаружены); биос: Cu, Zn (2,5) – Cr (1,1) – Ni (0,9) – Mo (0,8) – Pb (0,25) – Ag (0,02); почва селитебного участка: Cr (15,0) – Ni (11,5) – Zn (10,0) – Cu (8,0) – Pb (6,3) – Co (4,0) – Hg (0,03) – Ag (0,03) – Mo, Be (не обнаружены); биос: Pb (3,5) – Cu (3,0) – Zn (2,0) – Cr, Ni (0,7) – Mo (0,04) – Ag (0,02).

На четвертом и пятом участках почвообразующими породами являются эоценовые нуммулитовые известняки, суммарное содержание ТМ и доля элементов I класса опасности в которых составляет 26,0 мг/кг и до 20 %. В развитых на них черноземах эти параметры соответственно равны 76,4 мг/кг и до 27 % вблизи автотрассы и 33,8 мг/кг и 10 % в селитебной зоне. То есть в почвах, по сравнению с породами, содержание ТМ вблизи автотрассы возрастает практически втрое, причем элементов I класса становится больше в четыре, а II – в два раза. Ряды по убыванию среднего содержания ТМ выглядят так, мг/кг: порода: Cr (12,0) – Ni (6,3) – Pb (5,0) – Cu (2,5) – Hg (0,2) – Zn, Co, Mo, Be, Ag (не обнаружены), почва, авто-

дорожный участок: Cr (25,0) – Ni (15,0) – Zn, Cu, Pb (10,0) – Co (6,3) – Hg (0,1) – Ag (0,02) – Mo, Be (не обнаружены); почва, селитебный участок: Cr, Ni (15,0) – Cu (10,0) – Co (4,0) – Pb (3,2) – Hg (0,035) – Ag (0,025) – Zn, Mo, Be (не обнаружены).

Для следующих трех участков почвообразующими породами являются песчано-глинистые образования. Один из них расположен в рекреационной зоне. Почвообразующие породы – среднеюрские песчано-глинистые сланцы, вмещающие ртутно-полиметаллическую минерализацию и изначально обогащенные халькофильными элементами. Поэтому суммарное содержание ТМ и доля в нем элементов I класса опасности в породах и почвах максимальны среди установленных для экосистем зоны и составляют в породах 266,3 мг/кг и до 32 %, в почвах – 294,9 мг/кг и до 44 %. Убывающие ряды в породах и почвах сходны по расположению ТМ и по их содержанию, что подтверждает природное происхождение высокой концентрации металлов в почвах, мг/кг: порода: Cr (100,0) – Zn (63,0) – Ni (50,0) – Pb (20,0) – Cu, Co (15,0) – Be (2,0) – Mo (1,2) – Hg (0,1) – Ag (0,05); почва: Zn (100,0) – Cr, Ni (63,0) – Pb, Cu (25,0) – Co (15,0) – Be (2,5) – Mo (1,2) – Ag (0,15) – Hg (0,1).

Почвообразующие породы двух оставшихся участков, расположенных в зоне влияния карьера по разработке глины и в селитебной зоне – нижнемеловые глины. Суммарное содержание металлов в породах составляет 231,0 мг/кг, причем на элементы I класса опасности приходится до 40 %. В почвах вблизи карьера соответственно 132,7 мг/кг и до 26 %. В селитебной зоне – 195,7 мг/кг и до 33 %.

Для участка в зоне влияния карьера ряды по убыванию содержания ТМ в общем аналогичны, мг/кг: порода: Cr, Zn (63,0) – Ni (40,0) – Pb (20,0) – Cu, Co (15,0) – Be (2,5) – Hg (0,2) – Ag (0,08) – Mo (не обнаружен); почва: Cr (50,0) – Ni (25,0) – Zn (20,0) – Cu (15,0) – Pb (12,0) – Co (8,0) – Be (1,5) – Mo, Hg (0,6) – Ag (0,04).

Для селитебной зоны эти ряды идентичны, мг/кг: порода: Cr, Zn (80,0) – Ni (40,0) – Cu (25,0) – Pb (12,0) – Co (4,0) – Be (2,0) – Mo (0,5) – Hg (0,04) – Ag (0,03); почва: Cr (63,0) – Zn (50,0) – Ni (40,0) – Cu (20,0) – Pb (12,0) – Co (8,0) – Be (2,0) – Mo (0,6) – Ag (0,08) – Hg (0,03).

Схожесть рядов свидетельствует как о малом влиянии источников загрязнения на конкретные экосистемы, так и о стойкости самих систем. Возможно, ТМ сорбируются и закрепляются глинистым веществом почв и пород, накапливаются ими и практически не участвуют в круговороте, не нарушая (при данном уровне концентрации) термодинамическое равновесие экосистем.

Характер распределения ТМ в рассмотренных экосистемах позволяет отметить зависимость уровня содержания их в почвах от такового в почвообразующих породах. На аналогичных участках с источниками загрязнения разных типов более высокое, но не превышающее фоновое, содержание установлено в селитебных зонах. Это свидетельствует о весьма низкой интенсивности антропогенных источников, не представляющих угрозы экосистемам данной зоны.

По интегральному показателю загрязнения все исследованные участки Предгорной зоны характеризуются допустимым (средним) уровнем загрязнения почв и удовлетворительными экологическими условиями (Z_c почв нигде не превышает 16).

Зона Степного Крыма. В этой зоне проведено опробование системы порода – почва в трех районах с различными почвообразующими породами и типами антропогенной нагрузки (табл. 5). Почвы на всех участках опробования – черноземы южные.

В первом районе, где почвообразующие породы представлены континентальными красно-бурыми верхне-неогеновыми глинами, опробованы три разреза на участках влияния различных типов источников антропогенного загрязнения: рекреационного, сельскохозяйственного и химического производства. Среднее суммарное содержание исследуемых ТМ в красно-бурых глинах составляет 187,7 мг/кг, в том числе элементов I класса опасности 28,8 %. Ряд по убыванию содержания ТМ выглядит так, мг/кг: Cr (63,0) – Ni (40,0) – Zn (32,0) – Pb (20,0) – Cu (15,0) – Co (15,0) – Be (2,0) – Mo (0,6) – Hg (0,06) – Ag (0,025).

В почвах на рекреационном участке содержание ТМ соответственно 107,4 мг/кг и 34,1 %. Убывающий ряд содержания, мг/кг: Cr (40,0) – Zn (20,0) – Pb (25,0) – Cu (15,0) – Co (12,0) – Ni (3,2) – Be (1,5) – Mo (0,6) – Hg (0,085) – Ag (0,02).

На участке с сельскохозяйственным типом источника загрязнения суммарное содержание ТМ в почвах составляет 248,2 мг/кг, элементов I класса опасности – 25,0 %. В почвах участка влияния химического предприятия соответственно 630,7 мг/кг и 22,6 %. Ряды по убыванию содержания в почвах этих участков различны, мг/кг: *сельскохозяйственный*: Cr (50,0) – Zn (40,0) – Ni (40,0) – Pb (20,0) – Co (20,0) – Cu (15,0) – Be (2,0) – Mo (1,2) – Ag (0,03) – Hg (0,02); *вблизи химического производства*: Cu (400,0) – Zn (100,0) – Cr (50,0) – Pb (40,0) – Ni (25,0) – Co (12,0) – Be (1,2) – Mo (1,0) – Hg (0,63) – Ag (0,15).

В почвах рекреационного участка незначительно накапливается только Mo. На участке сельскохозяйственного загрязнения накапливаются Zn, Co, Mo, Ag, а выносятся Cr и Hg. Вблизи химического предприятия накапливаются Zn, Pb, Cu, Hg, Mo, Ag, а выносятся Cr, Ni, Co, Be.

В районе, где почвообразующие породы представлены четвертичными лессовидными суглинками, экосистемы опробованы на участках влияния сельскохозяйственных и промышленных источников. Суммарное содержание ТМ в почвообразующих породах составляет 219,0 мг/кг, элементов I класса опасности – 30,6 %, а ряд по убыванию содержания ТМ выглядит так, мг/кг: Cr (80,0) – Zn (40,0) – Ni (40,0) – Pb (25,0) – Cu (15,0) – Co (15,0) – Mo (2,0) – Be (2,0) – Ag (0,05) – Hg (0,02).

На участке с сельскохозяйственным типом источника загрязнения суммарное содержание ТМ в почвах составляет 193,5 мг/кг, элементов I класса опасности в них – 37,2 %. Ряды по убыванию содержания в почве и породе практически одинаковы (меняются местами только Be и Mo), содержание в почвах выше только для Zn, мг/кг: *почва*: Cr (50,0) – Zn (50,0) – Ni (40,0) – Pb (20,0) – Cu (15,0) – Co (15,0) – Be (2,0) – Mo (1,5) – Ag (0,04) – Hg (0,015).

На участке вблизи промышленного источника (машиностроительное производство) суммарное содержание ТМ в почвах значительно выше – 430,2 мг/кг и 63,6 %. То есть вследствие техногенной нагрузки происходит дополнительное поступление ТМ, причем преимущественно I класса опасности. Это же подтверждает и ряд по убыванию содержания, мг/кг: *почва*: Zn (150,0) – Pb (120,0) – Ni (40,0) – Cr (40,0) – Cu (40,0) – Co (32,0) – Mo (4,0) – Be (1,9) – Ag (0,8) – Hg (0,2).

Третий район, где почвообразующими породами являются верхнеогеновые серые морские глины, характеризуется наличием источника загрязнения сельскохозяйственного типа. Суммарное содержание ТМ в породах составляет 164,5 мг/кг, элементов I класса опасности – 34,3 %. В почвах соответственно – 219,6 мг/кг и 48,5 %. Ряды по убыванию содержания следующие, мг/кг: *порода*: Cr (50,0) – Zn (40,0) – Ni (32,0) – Pb (15,0) – Cu (15,0) – Co (10,0) – Be (1,5) – Mo (1,0) – Hg (0,04) – Ag (0,03); *почва*: Zn (80,0) – Cr (50,0) – Ni (32,0) – Pb (25,0) – Cu (20,0) – Co (10,0) – Be (1,5) – Mo (1,0) – Hg (0,1) – Ag (0,03). Ряды практически одинаковы, меняются местами только Cr и Zn. Однако существенно увеличивается содержание Zn и Hg и незначительно – Pb и Cu.

Интегральный показатель загрязнения почв Z_c превышает 16 только на участках вблизи предприятий машиностроительного и химического производства и составляет соответственно 25,3 и 21,0 – умеренно опасная категория загрязнения почв. Следовательно, в целом экологические условия зоны Степного Крыма можно считать удовлетворительными и только в зоне влияния промышленных источников они ухудшаются до неблагоприятных.

ТМ в компонентах экосистем с различной техногенной нагрузкой. На территории рассмотренных эколого-геохимических зон основными антропогенными факторами, влияющими на распределение и аномальное накопление ТМ в компонентах экосистем, являются промышленное и сельскохозяйственное производство. Наиболее интенсивно они представлены в Степной зоне, при этом, если загрязнение за счет промышленных источников относительно локализовано в пределах промзон, то применение пестицидов, минеральных удобрений и орошение днепров-

скими водами охватывают значительные площади. Аномалии, возникающие под воздействием этих источников, по составу и концентрации ТМ несколько разнятся в зависимости от типа промышленного источника и применяемых в сельском хозяйстве химикалий. Определенное влияние на экологическую обстановку оказывает также наличие рекреационных и селитебных зон, автомагистралей и карьеров по добыче стройматериалов (табл. 6).

По ассоциации накапливающихся элементов почвы и растения аномалий техногенных источников различны. Практически во всех аномальных полях в почвах и растениях накапливается Ag. Кроме него растениями накапливается также Pb и Ni и, значительно меньше, Cr и Mo. Их накопление, очевидно, обусловлено именно техногенным поступлением. Поля повышенного содержания, зафиксированные в почвах и растениях других изученных источников, содержат больше элементов накопления. Только в растениях сельскохозяйственных аномалий установлен Cr. Вблизи промпредприятий повышенное содержание ТМ в растительности не зафиксировано. Ни один из исследованных элементов не присутствует в почвах аномальных полей всех источников. Наиболее распространены Pb, Ni, Co, Be, Cr.

Полученные данные существенно отличаются от представленных в работе [11] для аномальных полей карьера по добыче строительных материалов, для которых аномалиеобразующим элементом назван только Hg. Для аномальных полей прочих источников в работе [11] указаны установленные и нами как аномальные Hg, Cr, Pb, Co (промышленные производства); Cr и Hg (сельскохозяйственные участки); Hg, Cr, Pb (селитебные районы).

Установленные повышенные значения элементов (Hg, Pb, Zn, Cu, Ag) характерны для зон ЮБК, Предгорной и Горной вследствие развития на их территории ртутно-полиметаллической минерализации. В почвы Степной зоны они поступают за счет сельскохозяйственных и промышленных источников. Накопление остальных элементов установленных ассоциаций связано преимущественно со спецификой источников, по развитию ореолов возможно установление и оконтуривание полей влияния на окружающую среду различных источников.

Кроме того, можно утверждать, что появление в аномальном поле Be, Ni, Mo свидетельствует о техногенном происхождении аномалий, тогда как Hg, Ag, Zn, Cu, Pb могут иметь природное происхождение.

Выводы. Единство методов опробования, аналитической обработки проб, интерпретации результатов и общая методология, основанная на исследовании взаимосвязанных компонентов экосистем, позволяют проводить сравнительный анализ и оценивать миграцию и накопление ТМ и, следовательно, степень экологического риска на отдельных территориях уже на уровне региональных эколого-геохимических работ. По преобладающему источнику загрязнения, в рассмотренных экосистемах выделяются рекреационные, селитебные, карьерные, автодорожные, сельскохозяйственные и промышленные поля повышенного содержания ТМ, каждое из которых харак-

теризуется определенным набором приоритетных элементов, уровнем их содержания в почвах и биосе и положением в ряду по убыванию содержания.

Потенциальная емкость почв изначально определяется уровнем содержания ТМ в почвообразующих породах. В биосе уровень содержания ТМ контролируется их концентрацией в атмосфере, площадью сорбирующей поверхности растений и особенностями их внутреннего строения (лиственные, жестколистные, хвойные растения).

В Южнобережной зоне при отсутствии крупных и интенсивных источников техногенного загрязнения, наличии слабых агрогенных и автомагистральных источников с широким развитием рекреационных и селитебных зон сохраняется благоприятная экологическая обстановка. Накопление ТМ в почве и биосе незначительное, равно как и степень экологического риска.

В области открытого карста Горного Крыма также преобладают незначительные рекреационные, селитебные, агрогенные, автомагистральные и карьерные источники загрязнения, не создающие угрозы для окружающей среды. Интенсивным техногенным источником можно назвать только военно-технический полигон, экологическое состояние территории которого может быть определено как опасное с высокой степенью экологического риска. Вместе с тем преобладание вертикальной миграции при деструкции и латеральной при смыве почв способствует глубинному и площадному распространению загрязнения и нарушает экологическую стабильность всей области открытого карста.

В Предгорной зоне широко распространены антропогенные источники загрязнения агрогенного (преимущественно садоводческого), рекреационного, селитебного, автодорожного и карьерного типов, создающие в почве слабоинтенсивные, неконтрастные поля повышенного содержания ТМ, что позволяет оценивать экологические условия как удовлетворительные. Особое место в этой зоне занимают промышленно-городские агломерации, оценка экологического состояния которых требует специального исследования.

В зоне Степного Крыма агрогенными источниками загрязнения служат минеральные удобрения, пестициды и днепровские воды, которые распространяются на значительную площадь, что при преобладании латеральной миграции способствует формированию слабых, неконтрастных аномальных полей сельскохозяйственного типа. Интенсивные техногенные аномалии формируются вблизи предприятий машиностроения и химической отрасли, обуславливая напряженное либо неблагоприятное экологическое состояние среды. Резко повышенное содержание ТМ в приповерхностном горизонте почв свидетельствует об исключительно техногенном происхождении этих аномалий и позволяет прогнозировать их дальнейшее расширение и общее ухудшение экологического состояния всей зоны.

Формирование состава аномальных полей в разных ландшафтно-геохимических зонах зависит прежде всего от типа источника, хотя приоритетные элементы (Hg, Zn, Cu, Pb) обнаружены во всех аномальных полях и для установления типа источника при определении толь-

ко валового содержания неинформативны. Кроме них, элементами техногенного накопления в почвах и растениях всех зон являются Ag, Mo, реже Co, Be, Cr, Ni. Именно последние могут служить для определения типа источника во всех эколого-геохимических зонах Крыма.

Развитие природных источников загрязнения окружающей среды ТМ на территории Крыма не создает экологической опасности, а сами источники – интенсивных и контрастных аномальных полей, влияя прежде всего на буферность экосистем. Этот факт, а также ландшафтно-геохимические особенности – причина устойчивости экосистем Южнобережной, Горной и Предгорной зон, которые характеризуются в целом меньшей степенью экологического риска. Тогда как экосистемы зоны Степного Крыма (и, по аналогии ландшафтных условий, Присивашья) менее стойкие и требуют детального исследования с обязательным изучением закономерностей распределения подвижных форм в основных ландшафтообразующих компонентах.

1. Бастрыгина Т. М. Медь, свинец, цинк в почвах зоны влияния промышленных источников загрязнения // Пошук та екол. геохімія. – 2001. – № 1. – С. 14–19.
2. Войткевич Г. В., Мирошников А. Е., Поваренных А. С., Прохоров В. Г. Краткий справочник по геохимии. – М.: Недра, 1977. – 183 с.
3. Временное методическое руководство по проведению комплексных эколого-геохимических исследований (на территории Украины) / Е. А. Яковлев, Г. Г. Лютый, В. И. Почтаренко. – К.: Госкомгеологии, 1994. – 331 с.
4. Жовинський Е. Я., Кураєва І. В., Радченко А. І., Гайдихович К. В. Геохімічні критерії оцінки ступеня забруднення ґрунтів // Допов. НАН України. – 2003. – № 5. – С. 100–115.
5. Жовинський Е. Я., Кураєва І. В., Радченко А. І., Білік В. Ж. Оцінка ступеню екологічного ризику територій промислово-гірських агломерацій за забруднення важкими металами // Пошук та екол. геохімія. – 2003. – № 2/3. – С. 96–102.
6. Иванов В. В. Экологическая геохимия элементов: В 6 кн. – М.: Недра, 1994. – Кн. 1. – 304 с.
7. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва – растение. – Новосибирск: Наука, 1991. – 148 с.
8. Куликов Н. В., Молчанова И. В., Караева Е. Н. Радиоэкология почвенно-растительного покрова. – Свердловск, 1990. – 172 с.
9. Ландшафтно-геохимическая карта Украины / Под ред. А. И. Зарицкого. – 1 : 1500000. – 1994.
10. Михеева Е. В., Жигальский О. А., Малина В. П. Тяжелые металлы в системе почва – растение – животное в районе естественной геохимической аномалии // Экология. – 2003. – № 4. – С. 318–320.
11. Новиков Ю. А., Новикова Л. Н. Типизация эколого-геохимических изменений природной среды Крыма // Пошук та екол. геохімія. – 2003. – № 2/3. – С. 66–72.
12. Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами: Разработан Управлением охраны почв и земельных ресурсов Минприроды России. – М, 1993. – 23 с.
13. Радченко А. И. Распределение ртути в ландшафтно-геохимических зонах Крыма // Минерал. журн. – 1999. – 21, № 1. – С. 79–84.
14. Сает Ю. Е., Ревич Б. А., Янин Е. П. и др. Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1990. – 335 с.
15. Фомин Б. Н., Николишин И. Я., Воронская Г. Н. Исследование миграции ртути и кадмия в системе атмосфера – растение – почва с использованием изотопно-трассерных элементов в многоотсековых экостатах // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – СПб.: Гидрометеоздат, 1992. – Т. 14. – С. 103–118.
16. Шумлянський В. О., Івантишина О. М., Артеменко В. М. та ін. Малі токсичні елементи в рудах і навколишньому середовищі ртутних, поліметалічних і золоторудних родовищ Донбасу і Закарпаття. – К.: Знання України, 2002. – 143 с.

Розглянуто розподіл деяких важких металів у системах "порода – ґрунт – біос" і "порода – ґрунт" в зонах впливу природних і антропогенних джерел на території різних ландшафтно-геохімічних зон Криму.

In this article particularities of some heavy metals distribution in "soil-forming rock – soil – bios" and "soil-forming rock – soil" system in the influence area of natural and antropogeneous sources for various landscape-geochemical zones of the Crimea.