

В. А. АЛЕКСЕЕНКО^{*,**,*}, В. В. РУДСКИЙ^{****}, А. В. АЛЕКСЕЕНКО^{*****}

^{*}Институт водных и экологических проблем СО РАН, г. Барнаул

^{**}Государственный морской университет им. адмирала Ф.Ф. Ушакова, г. Новороссийск

^{***}Кубанский государственный аграрный университет, г. Краснодар

^{****}Московский государственный областной университет

^{*****}Санкт-Петербургский горный университет

ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРА НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ ГОРОДСКИХ ПОЧВ

Изучено геохимическое состояние почв более 300 населенных пунктов. Проведены контроль опробования, а также внутренний и внешний контроль анализов. Рядовые и контрольные анализы выполнены в аттестованных и аккредитованных лабораториях, в том числе в арбитражной. На основании обобщенных данных рассмотрено влияние размера города на процессы загрязнения почв. Приведена количественная информация о накоплении металлов почвами в различных категориях населенных пунктов. В городах, объединенных в группы по числу жителей, определена не только концентрация отдельных элементов в почвах, но и конкретная экологическая значимость загрязнения. Установлено, что наибольшее по массе содержание металлов в сравнении с кларком почв Земли характерно для почвенного покрова городов с населением 300–700 тыс. чел., менее 100 тыс. чел., а также рекреационно-туристических центров. Рассмотрена экологическая опасность накопления химических элементов в почвах и первостепенная роль Pb и Zn как загрязняющих элементов во всех группах городов. Отмечено накопление в почвенном покрове в значительных концентрациях Cd, Co и Ca, существенно изменяющих эколого-геохимическую обстановку в городских ландшафтах. Определено, что такие элементы, как As, Cu и Cl, являются ключевыми эколого-геохимическими загрязнителями в четырех группах населенных пунктов. Выделены группы населенных пунктов, различающиеся по величинам абсолютного разброса концентраций элементов.

Ключевые слова: экология почв, экологическая геохимия, геохимия окружающей среды, тяжелые металлы, микроэлементы, абсолютный разброс химических элементов.

A study is made of the geochemical state of soils for more than 300 settlements. A sampling inspection, and also an internal and external inspection of analyses have been carried out. Regular and control analyses were made in certified and accredited laboratories, including in the arbitration laboratory. Based on summarized data, we examine the influence of a city's size on soil pollution processes. Quantitative information on accumulation of metals by soils in settlements of different categories is given. For the cities, grouped together according to the number of inhabitants, we determined not only the concentrations of separate elements in soils but also the particular ecological significance of pollution. It is found that the highest (in mass) content level of metals when compared to the percentage abundance (clarke) of the Earth's soils is characteristic for the soil cover of cities with the population of 300–700 thousand and less than 100 thousand as well as for recreational-touristic centers. We consider the ecological hazard of accumulation of chemical elements in soils and the primary role of Pb and Zn as the contaminant elements in all the groups of cities. It is pointed out the soils are accumulating significant concentrations of Cd, Co and Ca which alter considerably the ecologo-geochemical situation in urban landscapes. It is concluded that such elements as As, Cu and Cl are the key ecologo-geochemical pollutants in four groups of settlements. We identified the groups of settlements differing in the values of absolute dispersal of concentrations of chemical elements.

Keywords: soil ecology, ecological geochemistry, environmental geochemistry, heavy metals, trace elements, absolute dispersal of chemical elements.

ВВЕДЕНИЕ

Почвы относятся к важнейшим природным ресурсам, определяющим устойчивое развитие государств. В перспективе для России сохранность плодородия почв должна стать основным и приоритетным направлением развития хозяйства [1, 2]. В последние десятилетия во всем мире под воздействием антропогенной деятельности геохимические особенности почв и в первую очередь почв ландшафтов населенных пунктов и сельскохозяйственных угодий претерпели существенные изменения [3–5]. Самые заметные из них произошли в распространенности (содержаниях) и распределении металлов [6, 7].

Для подавляющего большинства населенных пунктов проблемы плодородия почв не приоритетны [8–10]. Однако почвы как депонирующая среда являются и суммарным показателем эколого-гео-

химических изменений, происходящих на изучаемой территории [11–14]. Проведенные исследования показали [15], что в крупных промышленных центрах даже после ликвидации основных загрязнителей и при частичной замене городских почв в них сохраняется геохимическая информация о происшедшем загрязнении [16–18]. Отметим, что в населенных пунктах, занимающих всего около 5 % суши, проживает практически все население Земли [19–21]. Все это позволяет считать изучение геохимических особенностей почв, особенно населенных пунктов и сельскохозяйственных ландшафтов, одной из первоочередных задач и для экологии, и для геохимии [22–24]. Для принятия в последующем конкретных мер по улучшению экологической обстановки необходимы количественные геохимические сведения о современном состоянии почв [25–27].

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования включали отбор и анализ проб, обработку полученной информации. Всего было оценено геохимическое состояние почв более 300 населенных пунктов Европы, Азии, Африки, Австралии, Америки. Методика этих работ с перечислением изученных городов, методов анализов проб почв, их внутреннего и внешнего контроля и статистической обработки детально рассмотрена в [28]. Контроль отбора проб [29], а также внутрилабораторный и внешний контроль анализов [30] показали хорошую сходимость, реже удовлетворительную. Число проб в каждом населенном пункте колебалось от 30 до 1000.

Для установления кларковых содержаний химических элементов каждый населенный пункт характеризовался только средними их концентрациями. Это позволило при расчете кларков избежать ошибок, связанных с неодинаковым числом проб, отобранных в разных местах. Кроме собственных данных нами использованы сведения, полученные из литературных источников [31]. Статистическая обработка этой информации позволила вычислить средние содержания химических элементов, которые можно считать кларковыми содержаниями химических элементов в почвах населенных пунктов для конца XX – начала XXI в. [32].

Составлялись также отдельные выборки для различных групп населенных пунктов. В них (как и при установлении кларков) каждый пункт был представлен только средними содержаниями химических элементов в почвах. (Критерии обособления этих групп рассмотрены далее.) При статистической обработке анализов определены средние содержания химических элементов в почвах (табл. 1).

В дальнейшем проводилось сравнение этих средних содержаний с кларками почв Земли [32] и населенных пунктов [15]. При этом использовался ряд показателей, введенных еще в 1997 г. и уже довольно широко применяемых в практической деятельности и научных работах [33].

Показатель абсолютного накопления (ПАН) демонстрирует, какая масса определенного химического элемента (или его соединения) накопилась в конкретной части геохимической системы (или была вынесена из нее) в результате произошедших процессов на единице площади. В геохимическом ландшафте изучаемой частью может быть вся растительность и ее определенные виды, поверхностные или подземные воды, почвы и т. д.

В данной работе для удобства расчетов и практического исправления эколого-геохимической ситуации, сложившейся в ряде населенных пунктов к настоящему времени, за единицу площади принят 1 км². Еще раз отметим, что при установлении кларков почв определялись средние содержания химических элементов для каждой территории, площади которых удобнее рассматривать в квадратных километрах. При длительных работах, когда объектами исследования являются отдельные газоны, дворы, скверы и т. п., за единицу площади можно брать 1 м². Многочисленные расчеты плотности почв показали, что она изменяется в очень небольших пределах и при вычислениях ПАН можно использовать одинаковые значения. Вероятно, при детальном исследовании на газонах, клумбах и т. п. возможно ее нахождение и в каждой пробе.

Для установления ПАН в почвах на площади 1 км² определяется разница между фоновыми содержаниями до и после начала рассматриваемых процессов: $S_{ф2} - S_{ф1}$. Если по завершении процессов концентрация уменьшается (т. е. происходит вынос элемента), величина ПАН имеет отрицательное значение.

Изучение техногенных изменений концентрации рассматриваемых металлов по вертикальному профилю почв (для этого проходились шурфы и скважины) показало, что они в подавляющем большинстве случаев произошли на глубине до 30 см. Об этом же свидетельствуют обобщенные данные, полученные А. И. Перельманом [34].

Таблица 1

**Кларки и средние содержания химических элементов в почвах отдельных групп населенных пунктов
(содержание всех элементов, $n \cdot 10^{-3}$ % массы)**

Элемент	Номер элемента	Кларки почв		Среднее содержание в почвах					
		Земли, по [32]	населенных пунктов	городов-миллионеров	городов-полумиллионеров	городов местного значения	малых городов	малых поселков, деревень, станиц	рекреационно-туристических центров
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ag	47	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	0,02	0,04
Al	13	7130	3820	3760	3736	—	4484	—	4226
As	33	0,5	1,59	2,46	1	2,09	1,5	0,52	2,15
B	5	1	4,5	—	—	—	—	—	—
Ba	56	50	85,31	88,06	109,14	60,27	98,04	53,69	98,39
Be	4	0,6	0,33	0,29	0,28	—	0,19	0,84	0,24
Bi	83	—	0,11	0,12	0,11	0,23	0,1	0,1	0,11
C	6	—	4510	—	—	—	—	—	—
Ca	20	1370	5380	1710	7709	—	7667	—	7118
Cd	48	0,05	0,09	0,29	0,08	0,05	0,14	0,02	—
Cl	17	10	28,5	30,7	31,25	—	23,95	—	27,4
Co	27	0,8	1,41	1,58	1,44	1,27	1,46	1,07	1,81
Cr	24	20	8	8,27	5,5	4,22	8,15	5,28	8,81
Cs	55	0,5	$n \cdot 1,0$	—	—	—	—	—	—
Cu	29	2	3,9	5,51	3,01	2,81	2,82	3,47	5,69
Fe	26	3800	2230	1960	2011	—	2657	—	2490
Ga	31	3	1,62	1,74	1,61	1,51	1,52	1,8	1,62
Ge	32	0,5	0,18	0,19	0,16	0,16	0,26	0,16	0,19
H	1	2300*	1500	—	—	—	—	—	—
Hg	80	0,001	0,088	—	—	—	—	—	—
K	19	1360	1340	1450	1260	—	1277	—	1277
La	57	4	3,4	1,5	3,2	—	—	—	—
Li	3	3	4,95	4,54	5,25	5,03	4,59	5,04	5,12
Mg	12	630	790	670	1010	—	911	—	1006
Mn	25	85	72,87	87,05	71,52	54,66	45,75	67,49	112,46
Mo	42	0,2	0,24	0,23	0,22	0,36	0,26	0,37	0,2
N	7	100	1000	—	—	—	—	—	—
Na	11	630	580	660	527	—	592	—	645
Nb	41	—	1,57	1,67	1,57	2,42	1,7	1,5	1,64
Ni	28	4	3,3	3,54	2,8	2,37	1,84	2,84	3,98
O	8	—	49 000	—	—	—	—	—	—
P	15	80	120,05	134,12	108,98	132,7	120,37	131,95	119,77
Pb	82	1	5,45	6,62	4,56	4,34	3,95	2,27	5,52
Rb	37	10	5,8	5,83	5,1	—	6,3	—	6,3
S	16	85	120	160	114	—	105	—	102
Sb	51	—	0,1	—	—	—	—	—	—
Sc	21	0,7	0,94	0,86	0,84	1,01	1,18	0,6	1,18
Se	34	—	—	1,01	—	—	—	—	—
Si	14	33 000	28 900	32 930	26 120	—	25 534	—	26 701
Sn	50	1	0,68	1	0,64	0,9	0,74	0,62	0,65
Sr	38	30	45,78	35,82	35,92	36,53	32,45	23,15	55,07
Ta	73	—	0,15	0,1	—	—	—	0,1	—
Ti	22	460	475,79	497,58	437,82	427,63	448,91	558,32	479,44

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pi	81	—	0,11	0,1	0,1	1,07	0,22	0,1	0,11
V	23	10	10,49	10,7	7,89	9,91	10,41	6,45	11,54
W	74	—	0,29	0,27	0,36	0,35	0,35	0,27	0,24
Y	39	5	2,34	2,35	2,33	3,65	2,55	1,75	1,87
Yb	70	—	0,24	0,25	0,23	0,3	0,3	0,27	0,25
Zn	30	5	15,8	20,11	11,58	9,95	9,24	9,77	19,99
Zr	40	30	25,56	24,39	33,08	40,02	30,87	13,17	18,77

Примечание. Прочерк — нет данных.

* Содержание уточнено.

Определение средней плотности почв позволило после специальных расчетов утверждать, что увеличение (уменьшение) концентрации химических элементов в почвах на величину, равную $1 \cdot 10^{-3} \%$, в пределах верхнего 30-сантиметрового слоя соответствует увеличению (уменьшению) массы рассматриваемого химического элемента на 6 т на площади в 1 км².

Расчет ПАН проводится для установления массы веществ, накопившейся (вынесенной) из определенного объема геохимической системы в результате каких-либо процессов. В данной работе такими процессами были образование и развитие отдельных групп населенных пунктов, а конкретной геохимической системой служил верхний горизонт почв (30 см). В качестве исходной геохимической системы, по отношению к которой определялись геохимические изменения, связанные с формированием населенных пунктов, были взяты почвы Земли. Кларковые содержания в них химических элементов установлены А. П. Виноградовым [32].

Однако такой количественный показатель, как ПАН, необходимый для принятия многих решений, связанных с экологическими проблемами, не дает достаточной информации о наибольшем отрицательном влиянии определенных химических элементов в каждом конкретном случае. Так, рост содержания в почвах железа на сотни тонн на 1 км² менее опасен для организмов, чем увеличение концентрации ртути и мышьяка на 10 т. Это связано с различными значениями кларков этих элементов. К высоким содержаниям железа (кларк 4,64 %) организмы за долгий период развития и эволюции приспособились, а к повышенным концентрациям ртути (кларк $8,3 \cdot 10^{-6} \%$) или мышьяка ($1,7 \cdot 10^{-4} \%$) — нет. Чтобы учесть эту геохимическую особенность, был предложен показатель относительного накопления элементов (ПОН). Он представляет собой отношение массы элемента, накопившегося (или вынесенного) в результате произошедших процессов в определенной части геохимической системы (т. е. ПАН), к местному фоновому (или кларковому) содержанию. Таким образом, можно считать, что

$$\text{ПОН} = \text{ПАН} / \text{С}_{\text{кл. (фон)}}$$

При проведении многих экологических исследований, цель которых отлична от цели данной работы, довольно успешно используются, кроме ПАН и ПОН, другие показатели, в частности коэффициенты концентрации, показатель суммарного загрязнения и т. д.

Для характеристики поведения химических элементов в геохимических системах В. А. Алексеев [35] в 1997 г. предложил новый геохимический показатель — абсолютный разброс элементов (АР), который представляет собой отношение максимального фонового (кларкового) содержания элемента в одной части, составляющей геохимическую систему, к его минимальному фоновому (кларковому) содержанию, характеризующему другую ее часть. Нами были рассчитаны величины АР для пород и почв континентов [6]. По их значениям все химические элементы разделяются на три группы: первая — с АР > 100 (до 4250); вторая — с АР от 10 до 100; третья — с АР < 10. Внутри этих групп элементы различаются по кристаллохимическим показателям (энергии ионизации, электроотрицательности) [36].

Чем большими значениями природного АР характеризуются элементы, тем к большим колебаниям этих элементов приспособились живые организмы в процессе своего развития и эволюции. В связи с этим можно считать, что наиболее вредны для живого вещества колебания содержаний в окружающей среде элементов третьей группы: Bi, W, Au, Br, P, Zn, Ag, I, Be. Правда, они представляют опасность, тогда когда находятся в среде обитания в доступных формах.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Анализ антропогенной нагрузки на почвы населенных пунктов позволяет условно разделить их на шесть ведущих групп. За основу такого разделения нами взяты основные показатели техногенеза [31]. Кратко рассмотрим их.

Объем завозимых продуктов питания, строительных материалов, промышленных товаров зависит от числа жителей, т. е. от размеров населенных пунктов. Это влияет и на развитие городского транспорта (как общественного, так и личного), являющегося постоянным источником поступления в ландшафт специфических соединений: пыли от износа покрышек автомобилей и троллейбусов, колес и рельсов трамваев; выхлопных газов транспорта и т. д. Числом жителей обусловлено и количество отходов, вносимых в ландшафт в результате нормальной их жизнедеятельности. В значительной мере этим же показателем контролируется и объем удаляемых из ландшафта отходов, степень их очистки и способы захоронения (утилизации). Таким образом, размер населенного пункта (число жителей) во многом определяет баланс техногенной миграции элементов в ландшафте.

Однако количество и состав ввозимого в населенный пункт сырья, способы его обработки, объем образующихся при этом отходов, а также формы нахождения элементов в сырье и в отходах производства обусловлены профилями предприятий, действующих в рассматриваемом пункте. Часто их специфика оказывает значительное влияние и на систему очистки и способ захоронения отходов со всего города или из его отдельных районов.

Проведем классификацию ландшафтов (см. рисунок) с учетом обозначенных двух важнейших факторов, определяющих особенности техногенной миграции в селитебных ландшафтах. В соответствии со схемой сначала рассмотрим *ландшафты городов-миллионеров — промышленных центров государственного значения*. К ним относятся города с населением свыше 700 тыс. чел. Подсчеты многих исследователей показывают, что жители города с миллионным населением ежедневно выделяют в атмосферу около 0,5 млн м³ углекислого газа и 1200 м³ водяного пара и секрета потовых желез. Завоз продуктов питания и различных промышленных товаров в таких крупных городах примерно одинаков и зависит больше от числа жителей, чем от природных особенностей зоны. Системы очистки сточных вод и способы утилизации твердых отходов в крупных городах все более приближаются к типовым (стандартным). Примерно одинаковые загрязняющие вещества и в равных количествах попадают в селитебные ландшафты государственного значения от общественного и личного транспорта. Таким образом, техногенная миграция элементов, связанная непосредственно с жизнеобеспечением жителей в крупных городах, имеет гораздо больше общих черт, чем специфических отличий.

Промышленность городов с населением более одного миллиона жителей отличается некоторым разнообразием, но практически всегда включает в себя предприятия пищевой, химической, легкой промышленности, предприятия, связанные с обработкой металлов, строительные организации. Приведенные данные позволяют считать, что в таких городах состав и количество элементов, попадающих

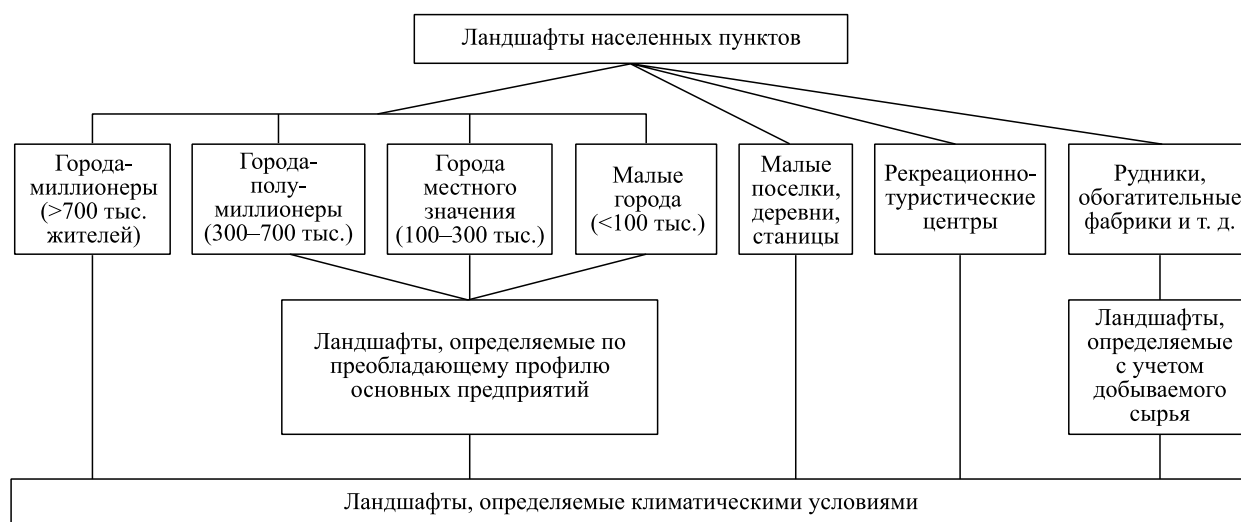


Схема классификации ландшафтов населенных пунктов.

в качестве загрязняющих в городской ландшафт в результате производственной деятельности, примерно одинаковы при пересчете на одного человека. Следовательно, объединение городов с населением около 1 млн жителей в отдельный тип ландшафтов имеет и определенное геохимическое обоснование.

Сведения о современных геохимических особенностях почв городов-миллионеров показывают, что даже после вывода из них крупных промышленных предприятий почвы сохраняют геохимические особенности, характерные для всей группы рассматриваемых городов [15]. Отметим также, что указанная картина сохраняется, несмотря на завоз в отдельные районы городов новых почв. Это и с эколого-геохимической точки зрения подтверждает правильность объединения в одну группу городов государственного значения с населением свыше 700 тыс. чел.

Ландшафты населенных пунктов регионального значения составляют города с населением 300–700 тыс. чел. Как и в предыдущей группе, для жизнеобеспечения такого числа жителей необходимо завозить примерно равное количество продуктов питания, одежды, обуви и т. д. Здесь всегда находится определенное число предприятий, связанных с необходимыми работами по обеспечению жизнедеятельности людей. Передвижение людей и грузов по городам с населением 300–700 тыс. чел. обеспечивается также примерно одинаковыми транспортными средствами. Схожи в большинстве городов рассматриваемой группы системы очистки вод и способы утилизации твердых отходов, объем которых определяется численностью населения.

Однако в отдельных случаях в подобных городах развитие некоторых крупных предприятий может оказать существенное влияние на собственно техногенное поступление в их пределы соответствующего комплекса элементов и его последующее перераспределение. Эколого-геохимические последствия работы таких предприятий накладываются на общие для данной группы городов закономерности распространенности и распределения химических элементов в атмосфере, водах, почвах, организмах, а также на отдельные специфические особенности [31]. В связи с увеличением масштаба исследований для этих городов (не получивших в группе широкого распространения) целесообразно обособление с учетом преобладающего профиля основных предприятий. Например, отдельно следует выделять города, где в основном действуют нефтеперерабатывающие или цементные предприятия (см. рисунок).

Еще большее влияние на особенности техногенной миграции оказывают крупные предприятия в *ландшафтах городов местного значения* (с населением от 100 до 300 тыс. жителей). Поэтому при детальном ландшафтно-геохимическом исследовании (особенно связанных с решением проблем охраны окружающей среды) рассматриваемые ландшафты целесообразно подразделять по тому же принципу, что и ландшафты городов регионального значения.

Выделены нами в отдельную группу и так называемые малые города с населением менее 100 тыс. чел., весьма распространенные в России и во всем мире. В совокупности в них проживает довольно большое количество жителей, многие из которых выезжают на работу в более крупные промышленные населенные пункты. Однако значительная часть населения, и в первую очередь дети, большую часть времени находится в малых городах. В связи с этим были рассмотрены геохимические особенности их почв.

Ландшафты небольших поселков, деревень, станиц и хуторов занимают среди остальных, относимых к селитебным, наименьшую площадь. Они представляют собой переход от сельскохозяйственных, степных и лесных ландшафтов к ландшафтам населенных пунктов с довольно интенсивным биологическим круговоротом элементов. От курортных ландшафтов они отличаются существенно меньшей численностью жителей, незначительной ролью транспорта в техногенном привносе элементов и своеобразным развитием биологического круговорота элементов, приближающегося к круговороту в окружающих их сельскохозяйственных или биогенных (природных) ландшафтах.

Особое внимание должно уделяться *ландшафтам населенных пунктов, относимым к рекреационно-туристическим*. В их пределах техногенная миграция определяется главным образом процессами, обеспечивающими нормальную жизнедеятельность сравнительно ограниченного количества постоянных жителей и довольно большого числа приезжих, а также особенностями развития транспорта и составом подземных минерализованных вод, используемых для лечения. Эти ландшафты часто играют заметную роль в миграции основных элементов биологического круговорота.

В отдельные группы объединены *ландшафты небольших населенных пунктов, расположенные у рудников, шахт, обогатительных фабрик*. В их пределах миграция и концентрация химических элементов определяются в значительно большей мере профилем предприятий, чем числом жителей. Добываемое и перерабатываемое сырье — основной постоянный источник химических элементов, поступающих, как правило, в повышенных содержаниях в рассматриваемые и в соседние ландшафты, что следует

учитывать при необходимости их подразделения. Так, отдельно выделяются ландшафты населенных пунктов у редкометалльных рудников, у обогатительных фабрик, перерабатывающих полиметаллические руды, цементное сырье и др. Геохимические особенности таких почв могут резко различаться в зависимости от вида добываемого (перерабатываемого) сырья. Общих геохимических особенностей для почв населенных пунктов этой группы не установлено.

Природные факторы, влияющие на миграцию элементов (особенно связанные с климатическими условиями), также необходимо учитывать при разделении ландшафтов населенных пунктов. Например, ход миграции различных веществ, попавших, в частности в зимнее время года, в ландшафты Каира и Новосибирска, во многом будет отличаться. Однако, как правило, ландшафтно-геохимические исследования и составление карт геохимических ландшафтов для решения проблем окружающей среды проводятся в одной климатической зоне. Кроме того, влияние техногенных факторов в населенных пунктах несравненно сильнее, чем природных. Учитывая все это, предлагается в случае необходимости уже после рассмотренного выше разделения селитебных ландшафтов проводить их дальнейшее обособление с учетом климатических условий (см. рисунок).

Данные о средних содержаниях химических элементов, характеризующие почвы выделенных населенных пунктов, приведены в табл. 1. Ранее выполненные исследования показали, что по содержаниям химических элементов почвы населенных пунктов значительно отличаются от почв Земли в целом, а ассоциация элементов с существенно повышенными (по сравнению с почвами Земли) содержаниями не имеет природных аналогов. Эти отличия, совместно с приведенными выше данными о селитебных ландшафтах, позволили выделить важнейшую с точки зрения экологии геохимическую систему — почвы населенных пунктов — с установлением для нее своих кларковых содержаний [18].

В этой системе, представленной почвами всех населенных пунктов, особого внимания заслуживают такие элементы, как Zn, Pb, Ba, Sr, Ca, Hg, B, Cu, Co. Их высокое содержание обусловлено в основном процессами техногенеза, т. е. загрязнением окружающей среды. Это подтверждается тем, что в почвах Земли концентрация перечисленных элементов меньше, чем в земной коре [37]. Следовательно, общие процессы почвообразования не привели к их накоплению в почвах. Для принятия обоснованных решений по улучшению экологического состояния в населенных пунктах определены показатели абсолютного и относительного накопления этих металлов в геохимической системе, представляющей почвы всех населенных пунктов, по отношению к почвам Земли. С некоторой долей условности эти показатели характеризуют техногенез в почвах населенных пунктов, рассматриваемых в качестве отдельной геохимической системы.

К числу основных геохимических особенностей почв каждой из выделенных групп населенных пунктов относится изменение распространенности (содержаний) химических элементов. В табл. 2 приведены данные об отличиях распространенности, установленных при сравнении ПАН средних содержаний элементов в почвах отдельных групп населенных пунктов с кларковыми содержаниями в почвах Земли. В каждой группе населенных пунктов рассматривались только те элементы, среднее содержание которых более чем в 1,5 раза превышало кларк почв Земли.

Почвы населенных пунктов с числом жителей более 700 тыс. чел. можно считать масштабной литохимической аномалией для почв Земли, пространственно разделенной на отдельные части. Аномалию составляют As, Ba, Cd, Cl, Co, Cu, Li, P, Pb, Zn. Больше всего в почвах увеличилось содержание P, Ba и Cl, наибольшие эколого-геохимические изменения вызвало накопление Pb, Cd, As и Zn, что следует учесть при разработке различных экологических мероприятий. Также особое внимание необходимо уделить пониженным концентрациям не Fe, а Cr, Y и Be (см. табл. 2).

В почвах городов с населением от 300 до 700 тыс. чел. существенно изменилось среднее содержание As, Ba, Be, Ca, Cd, Cl, Co, Cr, Cu, Fe, Li, Mg, Pb, Sn, Y, Zn. Как видно из приведенных данных, хотя по накапливаемой массе Pb, Cl и Zn стоят далеко не на первых местах, их аккумуляция оказывает (вместе с Ca) значительное влияние на изменение эколого-геохимической обстановки в почвах при формировании городов с населением 300–700 тыс. жителей. Из выносимых элементов наибольшую роль при формировании эколого-геохимического облика почв рассматриваемой группы городов играли Cr, Y и Be (см. табл. 2).

В почвах городов с населением от 100 до 300 тыс. жителей существенные изменения средних содержаний произошли для As, Co, Cr, Li, Mn, Mo, P, Pb и Zn. Элементы Pb, As и Zn, имеющие относительно незначительную накопившуюся массу, оказывают наибольшее влияние на изменение эколого-геохимической обстановки почв этой группы городов (см. табл. 2).

Абсолютное и относительное накопление химических элементов в почвах отдельных групп населенных пунктов (по отношению к почвам Земли), т/км²

Элемент	Численность населения, тыс. чел.								Деревни, поселки, станицы		Рекреационно-туристические центры	
	более 700		300–700		100–300		менее 100					
	ПАН	ПОН	ПАН	ПОН	ПАН	ПОН	ПАН	ПОН	ПАН	ПОН	ПАН	ПОН
Ag	–	–	–	–	–	–	–	–	–0,15	–6	–	–
As	11,8	23,5	3	6	9,54	19,1	–	–	–	–	9,6	19,2
Ba	228	4,6	354,8	7,1	–	–	288	5,8	–	–	290,4	5,8
Be	–1,9	–3,1	–1,9	–3,1	–	–	–2,5	–4,1	–	–	–2,2	–3,6
Ca	–	–	38 036	27,8	–	–	37 784	27,6	–	–	34 488	25,2
Cd	1,4	28	0,18	3,6	–	–	0,6	12	–0,19	–3,8	–	–
Cl	124,2	12,4	127,5	12,8	–	–	83,7	8,4	–	–	104,4	10,4
Co	4,7	5,85	3,8	4,8	2,8	3,5	4,0	5,0	–	–	6,1	7,6
Cr	–70,4	–3,5	–87	–4,4	–94,7	–4,7	–71,1	–3,6	–88,3	–4,4	–67,1	–3,4
Cu	21	10,5	6,1	3	–	–	–	–	8,8	4,4	22,1	11,1
Fe	–11 040	–2,9	–10 737	–2,8	–	–	–	–	–	–	–	–
Li	9,24	3,1	13,5	4,5	12,2	4,1	9,5	3,2	12,2	4,1	12,7	4,2
Mg	–	–	2280	3,6	–	–	–	–	–	–	2256	3,6
Mn	–	–	–	–	–182,0	–2,1	–235,5	–2,8	–	–	–	–
Mo	–	–	–	–	0,96	4,8	–	–	1	5,1	–	–
P	324,7	4,1	–	–	316,2	4,0	–	–	311,7	3,9	–	–
Pb	33,7	33,7	21,4	21,4	20	20	17,7	17,7	7,6	7,6	27,1	27,1
Sn	–	–	–2,16	–2,2	–	–	–	–	–2,26	–2,3	–2,1	–2,1
Sr	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	150,4	5,0
V	–	–	–	–	–	–	–	–	–21,3	–2,1	–	–
Y	–15,9	–3,2	–16	–3,2	–	–	–14,7	–2,9	–19,5	–3,9	–18,8	–3,7
Zn	90,7	18,1	39,5	7,9	29,7	5,9	25,4	5,1	28,6	5,7	90	18
Zr	–	–	–	–	–	–	–	–	–101	–3,4	–67,4	–2,2

Примечание. Прочерк — нет данных.

В почвах небольших городов с населением менее 100 тыс. чел. довольно повышенные, по сравнению с кларком почв Земли, средние содержания установлены для Ba, Ca, Cd, Cl, Co, Li, Pb и Zn, а пониженные — для Be, Cr, Mn и Y (см. табл. 2). Таким образом, несмотря на значительно меньшие изменения масс таких химических элементов, как Pb, Cd, Be, именно они в наибольшей мере изменили (судя по особенностям такой депонирующей среды, как почвы) эколого-геохимическую обстановку в городах с населением менее 100 тыс. чел.

В почвах деревень, поселков и станиц перемены в большей мере связаны с пониженными (по сравнению с кларком почв Земли) содержаниями химических элементов (Ag, Cd, Cr, Sn, V, Y, Zr). Повышенные содержания установлены для Cu, Li, Mo, P, Pb и Zn. Наибольшие эколого-геохимические изменения, отмеченные в почвах рассматриваемой группы, обусловлены увеличением содержания Pb, Zn, Mo и Cu и уменьшением — Ag и Cr (см. табл. 2).

Особое место среди населенных пунктов занимают рекреационно-туристические центры. Их почвы характеризуются повышенными средними содержаниями As, Ba, Ca, Cl, Co, Cu, Li, Mg, Pb, Sr, Zn и пониженными — Be, Cr, Sn, Y и Zr (см. табл. 2).

Таким образом, у 23 из 50 рассматриваемых химических элементов [15] средние содержания в почвах выделенных групп населенных пунктов в 1,5 раза и более отличаются от кларка почв Земли, а у 18 — более чем в 2 раза (см. табл. 1 и 2). Это может свидетельствовать о необходимости разделения при детальном исследовании такой геохимической системы, как почвы населенных пунктов, и о правильности нашего подхода к подобному разделению.

Концентрации подавляющего большинства указанных химических элементов в почвах населенных пунктов больше кларка почв Земли, что объясняется процессами техногенного загрязнения. Для Cr (а часто Y и Be) они меньше соответствующего кларка. Единого объяснения этому явлению нет. По

нашему мнению, при установлении кларка почв Земли содержания элементов были завышены. Возможно, это связано с используемыми в тот период методами анализов.

В почвах различных групп населенных пунктов весьма существенно изменяется и абсолютный разброс (АР). В городах с населением более 700 тыс. жителей распределение химических элементов, отличающихся повышенным (по сравнению с почвами Земли) содержанием, иногда меняется в относительно широких пределах. Например, абсолютный разброс для Cd равен 51 (от $0,015 \cdot 10^{-3} \%$ в Самаре до $0,77 \cdot 10^{-3} \%$ в Алмате); для Zn — 6,5 (от $7,9 \cdot 10^{-3} \%$ в Минске до $(28-52) \cdot 10^{-3} \%$ в Гамбурге, Шеньчжене, Красноярске); для Pb — 4 (от $5 \cdot 10^{-3} \%$ в Минске до $(14-20) \cdot 10^{-3} \%$ в Кельне, Санкт-Петербурге, Париже, Лондоне).

Однако для основного количества городов (без учета единичных населенных пунктов с минимальными и максимальными содержаниями некоторых элементов в почвах) размах колебаний около среднего невелик. Наличие отдельных городов с аномально низкими и высокими содержаниями элементов в почвах в большинстве случаев объясняется спецификой антропогенной деятельности, а также, вероятно, сорбционными особенностями почв, что наиболее характерно для распределения Zn.

Рассмотрим распределение средних содержаний тех же элементов (Cd, Zn, Pb), но уже в почвах отдельных городов с населением 300–700 тыс. чел. Абсолютный разброс для Cd резко увеличился по сравнению с городами-миллионерами и достиг 1370 (от $0,001 \cdot 10^{-3} \%$ в Иркутске до $1,37 \cdot 10^{-3} \%$ в Павлодаре). Для Zn АР возрос до 40 (от $2,2 \cdot 10^{-3} \%$ в Бресте до $88,8 \cdot 10^{-3} \%$ в Усть-Каменогорске). У Pb АР стал равен 32,5 (от $0,78 \cdot 10^{-3} \%$ в Таразе до $25,4 \cdot 10^{-3} \%$ в Усть-Каменогорске). Приведенные данные показывают, что относительная равномерность распределения химических элементов, характерная для городов-миллионеров, нарушилась. Это объясняется тем, что развитие некоторых городов рассматриваемой группы связано с комплексом предприятий одной отрасли. К примеру, в г. Усть-Каменогорске расположено несколько очень крупных предприятий, относящихся к сфере цветной металлургии. Подобные промышленные центры схожи с «моногородами», имеющими одно основное предприятие, выступающее доминирующим загрязнителем.

Однако если не учитывать такие города, распределение элементов будет весьма равномерным. Так, например, среднее содержание Pb в почвах подавляющего большинства городов группы колеблется от $2 \cdot 10^{-3}$ до $6,7 \cdot 10^{-3} \%$ (АР равен 3,3).

В почвах городов с населением 100–300 тыс. жителей разброс содержаний элементов возрос и стал равен для Zn — 32 (от $1,04 \cdot 10^{-3} \%$ в Уральске до $32 \cdot 10^{-3} \%$ в Братске), а для Pb — 42. Это обусловлено теми же факторами, что и увеличение величины АР в вышерассмотренной группе городов.

В почвах деревень АР практически всех химических элементов стал наименьшим, что объясняется низкими, близкими к кларку почв Земли, средними содержаниями элементов в отдельных населенных пунктах группы.

В почвах туристско-рекреационных центров АР многих элементов достаточно велик. Отмеченные в ряде случаев большие величины АР средних содержаний химических элементов в первую очередь объясняются разной удаленностью населенных пунктов от промышленных центров и сельскохозяйственных угодий, меняющимся развитием транспортных средств, использованием лечебных вод и грязей различного состава. Так, АР для Pb равен 46 (от $0,65 \cdot 10^{-3} \%$ на о. Сайпан до $30 \cdot 10^{-3} \%$ в Алушке, в Крыму); для Zn — 100 (от $0,5 \cdot 10^{-3} \%$ на о. Сайпан до $50 \cdot 10^{-3} \%$ в поселке на Черном море).

Если бы данная геохимическая система (почвы селитебных ландшафтов) имела большие размеры, можно было бы говорить о геохимической угрозе живому веществу. Пока же отметим, что установленный АР, безусловно, влияет на изменение экологической обстановки в выделенных группах населенных пунктов и указывает на существенные отличия в процессах концентрации и поступления веществ в депонирующую среду этих групп селитебных ландшафтов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Количественные эколого-геохимические данные о составе почв подтвердили эколого-социологическую информацию о необходимости обособленного рассмотрения почв населенных пунктов и о их разделении на отдельные группы в зависимости от числа жителей.

Наибольшее (десятки тыс. т/км²) по массе накопление, которое, как и вынос, устанавливалось во всех представленных далее построениях по отношению к почвам Земли, отмечается в почвах групп населенных пунктов с числом жителей 300–700 тыс., менее 100 тыс. и в рекреационно-туристических центрах. Во всех этих системах оно связано с увеличением содержаний Ca и Mg.

Рассматривая эколого-геохимическую значимость процесса накопления химических элементов в почвах, можно подчеркнуть первостепенную роль Pb и Zn во всех группах. Накопившаяся масса Pb колеблется от 18 до 34 т/км², уменьшаясь в почвах деревень до 8 т/км². Концентрация Zn обычно колеблется от 25 до 39 т/км² и только в рекреационно-туристических центрах и городах-миллионерах доходит до 90 т/км².

Из остальных загрязняющих элементов следует отметить As, а также Cu и Cl, которые в четырех группах являются основными эколого-геохимическими загрязнителями. В двух группах населенных пунктов к важным загрязнителям почв относятся Cd и Co, а в трех эколого-геохимическая обстановка существенно изменяется из-за увеличения содержания Са.

В почвах всех групп населенных пунктов отмечено пониженное содержание Cr, часто — Y и Be. Наибольший по массе вынос характерен для Fe (свыше 10 000 т/км²) и Cr (от 67 до 95 т/км²). Значительные эколого-геохимические изменения почв можно связать с уменьшением содержаний Cr, Y и Be по сравнению с почвами Земли. Выделенные группы населенных пунктов также различаются по величинам абсолютного разброса химических элементов. Наибольший разброс характерен для тех категорий, в которых отдельные города развиваются благодаря комплексу предприятий одной отрасли, например цветной металлургии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кузнецова О. В., Ельчинова О. А., Пузанов А. В. Роль почв в устойчивости ландшафтов бассейна Телецкого озера к загрязнению тяжелыми металлами // География и природ. ресурсы. — 2014. — № 3. — С. 48–52.
2. Лузгин Б. Н. Загрязнение почв металлами (на примере Алтайского региона) // География и природ. ресурсы. — 2004. — № 4. — С. 151–154.
3. Prokof'eva T. V., Gerasimova M. I., Bezuglova O. S., Bakhmatova K. A., Gol'eva A. A., Gorbov S. N., Zharikova E. A., Matinyan N. N., Nakvasina E. N., Sivtseva N. E. Inclusion of soils and soil-like bodies of urban territories into the Russian soil classification system // Eurasian Soil Science. — 2014. — N 47 (10). — P. 959–967.
4. Макаров В. Н. Эколого-геохимическая оценка техногенного воздействия на окружающую среду Якутии // География и природ. ресурсы. — 2010. — № 1. — С. 45–48.
5. Tsibart A. S., Gennadiev A. N. Polycyclic aromatic hydrocarbons in soils: sources, behavior, and indication significance (a review) // Eurasian Soil Science. — 2013. — N 46 (7). — P. 728–741.
6. Алексеенко В. А. Эколого-геохимические изменения в биосфере. Развитие, оценка. — М.: Унив. книга, 2006. — 520 с.
7. Перельман А. И. Геохимия. 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Высш. шк., 1989. — 528 с.
8. Nikiforova E. M., Kasimov N. S., Kosheleva N. E. Long-term dynamics of the anthropogenic salinization of soils in Moscow (by the example of the Eastern district) // Eurasian Soil Science. — 2014. — N 47 (3). — P. 203–215.
9. Timofeev I. V., Kosheleva N. E., Kasimov N. S., Gunin P. D., Enkh-Amgalan S. Geochemical transformation of soil cover in copper-molybdenum mining areas (Erdenet, Mongolia) // Journ. Soils and Sediments. — 2016. — N 16 (4). — P. 1225–1237.
10. Стурман В. И. К теоретическим основам географического анализа загрязнения // География и природ. ресурсы. — 1999. — № 2. — С. 12–15.
11. Vuzmakov S. A., Voronov G. A., Zaytsev A. A. The characteristics of the state of protected areas of Perm Krai // World Appl. Sci. Journ. — 2013. — N 2 (7). — P. 956–963.
12. Roca N., Pazos M. S., Bech J. Background levels of potentially toxic elements in soils: A case study in Catamarca (a semiarid region in Argentina) // Catena. — 2011. — N 92. — P. 55–66.
13. Samonova O. A., Aseyeva E. N., Kasimov N. S. Metals in soils of erosional systems in forest zone in the central part of European Russia // Journ. Geochem. Exploration. — 2014. — N 144 (B). — P. 247–259.
14. Tume P., Bech J., Reverter F., Bech J., Longan L., Tume L., Sepúlveda B. Concentration and distribution of twelve metals in Central Catalonia surface soils // Journ. Geochem. Exploration. — 2011. — N 109 (1–3). — P. 92–103.
15. Алексеенко В. А., Алексеенко А. В. Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов. — Ростов н/Д: Изд-во Южного федер. ун-та, 2013. — 383 с.
16. Kasimov N. S., Kosheleva N. E., Sorokina O. I., Bazha S. N., Gunin P. D., Enkh-Amgalan S. Ecological-geochemical state of soils in Ulaanbaatar (Mongolia) // Eurasian Soil Science. — 2011. — N 44 (7). — P. 709–721.
17. Norra S., Stüben D. Urban soils // Journ. Soils and Sediments. — 2003. — N 3 (4). — P. 230–233.
18. Alekseenko V., Alekseenko A. The abundances of chemical elements in urban soils // Journ. Geochem. Exploration. — 2014. — N 147 (B). — P. 245–249.
19. Аргучинцева А. В., Аргучинцев В. К., Лазарь О. В. Оценка загрязнения воздушной среды городов автотранспортом // География и природ. ресурсы. — 2009. — № 1. — С. 131–137.
20. Danilov A., Smirnov Y., Petrova T., Pashkevich M. Using drones of preconstruction monitoring conducting in mining enterprise // Intern. Journ. Ecology and Development. — 2015. — N 30 (1). — P. 36–42.

21. Тютюнник Ю. Г., Мартин-Фернандес Дж. А., Дауниси-Эстаделья Дж. Оценка загрязнения приземного слоя атмосферы городских территорий с применением современных методов математической статистики // География и природ. ресурсы. — 2007. — № 4. — С. 146–153.
22. Motuzova G. V., Minkina T. M., Karpova E. A., Barsova N. U., Mandzhieva S. S. Soil contamination with heavy metals as a potential and real risk to the environment // Journ. Geochem. Exploration. — 2014. — N 144 (B). — P. 241–246.
23. Tume P., Bech J., Sepúlveda B., Tume L., Bech J. Concentrations of heavy metals in urban soils of Talcahuano (Chile): a preliminary study // Environmental Monitoring and Assessment. — 2008. — N 140 (1–3). — P. 91–98.
24. Сорокина О. И., Кошелева Н. Е., Касимов Н. С., Голованов Д. Л., Бажа С. Н., Доржготов Д., Энх-Амгалан С. Тяжелые металлы в воздухе и снежном покрове Улан-Батора // География и природ. ресурсы. — 2013. — № 3. — С. 159–170.
25. Mandzhieva S. S., Minkina T. M., Sushkova S. N., Motuzova G. V., Bauer T. V., Chaplign V. A. The group composition of metal compounds in soil as an index of soil ecological state // American Journ. Agricult. Biol. Sciences. — 2014. — N 9 (1). — P. 19–24.
26. Герасимова М. И., Богданова М. Д. Мелкомасштабные карты геохимических барьеров // География и природ. ресурсы. — 2013. — № 3. — С. 9–17.
27. Tsoleva V. T., Hristova M. B., Bech J., Pascual N. R., Banov M. D. Pb, Cu and Zn geochemistry in reclaimed soils (technosols) of Bulgaria // Journ. Geochem. Exploration. — 2014. — N 144 (B). — P. 337–344.
28. Алексеенко В. А., Лаверов Н. П., Алексеенко А. В. Кларки химических элементов почв селитебных ландшафтов. Методика проведения исследований // Пробл. биогеохимии и геохим. экологии. — 2012. — № 3. — С. 120–125.
29. Maximovich N., Khayrulina E. Artificial geochemical barriers for environmental improvement in a coal basin region // Environmental Earth Sciences. — 2014. — N 72 (6). — P. 1915–1924.
30. Bech J., Roca N., Barceló J., Duran P., Tume P., Poschenrieder C. Soil and plant contamination by lead mining in Bellmunt (Western Mediterranean Area) // Journ. Geochem. Exploration. — 2012. — N 113. — P. 94–99.
31. Алексеенко В. А., Алексеенко А. В. Химические элементы в городских почвах. — М.: Логос, 2014. — 336 с.
32. Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. — М.: Изд-во АН СССР, 1957. — 238 с.
33. Алексеенко В. А., Суворинов А. В., Власова Е. В. Металлы в окружающей среде. Оценка эколого-геохимических изменений: Сб. задач. — М.: Логос, 2011. — 216 с.
34. Perel'man A. I. Geochemical barriers: theory and practical applications // Applied Geochemistry. — 1986. — N 1 (6). — P. 669–680.
35. Алексеенко В. А. Распределение химических элементов в литосфере и живые организмы // Науч. мысль Кавказа. — 1997. — № 2. — С. 63–70.
36. Ферсман А. Е. Избранные труды. — М.: Изд-во АН СССР, 1958. — Т. 4. — 588 с.
37. Vinogradov A. P. The geochemistry of rare and dispersed chemical elements in soils. 2nd ed., revised and enlarged. — New York: Consultants Bureau Enterprises, 1959. — 209 p.

Поступила в редакцию 22 июня 2015 г.