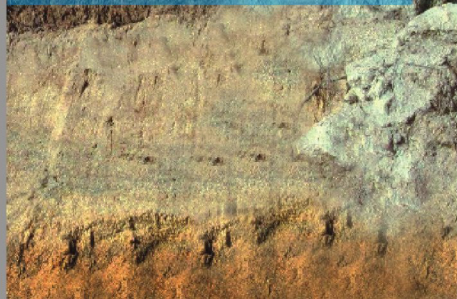
В. А. Алексеенко
А. В. Алексеенко



ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ГЕОХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ. КЛАРКИ ПОЧВ СЕЛИТЕБНЫХ ЛАНДШАФТОВ



В. А. Алексеенко, А. В. Алексеенко

ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ГЕОХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ. КЛАРКИ ПОЧВ СЕЛИТЕБНЫХ ЛАНДШАФТОВ

Монография

Ростов-на-Дону
Издательство Южного федерального университета
2013

V. A. Alekseenko, A. V. Alekseenko

CHEMICAL ELEMENTS IN GEOCHEMICAL SYSTEMS. THE ABUNDANCES IN URBAN SOILS

Монография

Rostov-on-Don
Издательство Южного федерального университета
2013

УДК 574
ББК 28.080.3
А47

Рекомендовано к печати Ученым советом Научно-исследовательского института биологии и Научно-исследовательского института геохимии биосферы Южного Федерального университета

Рецензенты:

доктор геолого-минералогических наук, профессор Национального исследовательского государственного университета В. П. Парначев (Россия, г. Томск);

доктор геолого-минералогических наук, профессор Забайкальского государственного университета В. С. Салихов, А. И. Трубачев (Россия, г. Чита);

доктор геолого-минералогических наук, профессор Г. А. Юргенсон, Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН (Россия);

доктор геологических наук, профессор Донецкого национального университета В. И. Алехин (Украина, г. Донецк);

кандидат геолого-минералогических наук, доцент Казахского национального технического университета им. К. И. Сатпаева, Н. Т. Кулкашев (Казахстан, г. Алматы)

Reviewers:

V. P. Parnachev (DSc, Professor, National Research Tomsk State University, Russia); V. S. Salikhov (DSc, Professor, Transbaikal State University, Chita, Russia), A. I. Trubachev (DSc, Professor, Transbaikal State University, Chita, Russia); G. A. Yurgenson (DSc, Professor, Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia); V. A. Alekhin (DSc, Professor, Donetsk National University, Donetsk, Ukraine); N. T. Kulkashev (DSc, Professor, Satbayev Kazakh National Technical University, Almaty, Kazakhstan)

Алексеенко, В. А.

А47 Химические элементы в геохимических системах. Кларки почв селитебных ландшафтов : монография / В. А. Алексеенко, А. В. Алексеенко. – Ростов н/Д : Издательство Южного федерального университета, 2013. – 380 с.

ISBN 978-5-9275-1095-5

Монография предназначена для широкой общественности, ученых и специалистов в области геологии, геохимии, географии, почвоведения, экологии, геоэкологии, биологии и других специалистов в области наук о Земле и охраны окружающей среды.

ISBN 978-5-9275-1095-5

УДК 574
ББК 28.080.3

© Алексеенко В. А., Алексеенко А. В., 2013
© Оформление. Макет. Издательство Южного федерального университета, 2013

В книге приводятся общие сведения о геохимических системах, впервые обособленных А. Е. Ферсманом. Особое внимание уделено биокосным системам, выделение и изучение которых связано с работами В. В. Докучаева, В. И. Вернадского, А. И. Перельмана и их учеников. Рассматриваются основные требования к изучению и характеристике геохимических систем. Приводятся основополагающие данные о геохимических ландшафтах и о поведении химических элементов в биосфере. При этом существенное внимание уделено ландшафтам населенных пунктов, их классификации, формированию в них геохимических аномалий. Рассматриваются четыре важнейших показателя состояния геохимических систем. Разбираются правила, закономерности и законы поведения химических элементов в этих системах.

Дается довольно подробная информация о кларках, местных фоновых содержаниях и разбросе химических элементов в абиогенных, биогенных и биокосных системах. Показывается, что наибольшие геохимические изменения, связанные с техногенезом, происходят в биокосных системах в пределах селитебных и сельскохозяйственных ландшафтов.

Значительная часть книги посвящена кларкам почв селитебных ландшафтов. Детально разбираются методика определения кларков, общие закономерности их поведения в почвах населенных пунктов. Проводится сравнение их величин с кларками почв Земли и земной коры. Рассматриваются геохимические особенности почв различных групп селитебных ландшафтов, выделяемых в зависимости от числа проживающих жителей.

Впервые приводятся установленные для конца XX – начала XXI вв. кларки 50 химических элементов почв селитебных ландшафтов.

The book provides general information about geochemical systems which were first described by A. E. Fersman. The main requirements for the analysis of these systems and their characterization are considered. Special attention is paid to the landscapes of settlements, namely to their classification and geochemical anomalies formation. The patterns, laws and mechanisms of chemical elements behavior in geochemical systems are examined.

Information about abundances of chemical elements, local background concentrations and spread in concentration values in abiogenic, biogenic and organomineral systems is given. It is shown that most of the geochemical changes, caused by technogenesis, occur in organomineral systems within urban and agricultural areas.

The main part of the book is dedicated to the abundances of chemical elements in urban soils. The general patterns in chemical elements behavior in soils of various settlements and methods of the abundances determination are discussed in details. The established abundances are compared with those given for the Earth's crust and global soil cover. The geochemical features of urban soils grouped on the basis of the settlement population size and characteristics of technogenic impact are investigated.

For the first time the abundances of 50 chemical elements in urban soils, established for the end of XX – the beginning of XXI centuries have been given.

For the general public, scientists and experts in the fields of geology, geochemistry, geography, soil science, ecology, geoecology, biology, and for other specialists in the field of the Earth sciences and environment protection.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие 14
Введение 18

Глава 1. Понятие о геохимических системах и ландшафтах 22

1.1. Геохимические системы 22
1.1.1. Общие сведения о геохимических системах 22
1.1.2. Основные требования к изучению и характеристике геохимических систем 27
1.2. Элементарные и геохимические ландшафты 31
1.2.1. Общие сведения 31
1.2.2. Классификация 38
1.3. Поведение химических элементов в биосфере и в составляющих ее отдельных геохимических системах 43
1.3.1. Общие сведения 43
1.3.2. Распространенность химических элементов 44
1.3.3. Формы нахождения химических элементов 47
1.3.4. Биогеохимические особенности систем 50
1.3.5. Разброс химических элементов 51

Глава 2. Некоторые особенности геохимических процессов в селитебных ландшафтах 56

2.1. Общие сведения о селитебных ландшафтах 56
2.2. Классификация селитебных ландшафтов 56
2.3. Классификация ландшафтов, составляющих в сумме единый селитебный ландшафт 60
2.4. Особенности антропогенного загрязнения селитебных ландшафтов 67
2.5. Эколого-геохимические аномалии селитебных ландшафтов 68

Глава 3. Кларки, местные фоновые содержания и разброс химических элементов в отдельных геохимических системах биосферы 88

3.1. Общие сведения 88
3.2. Химические элементы в абиогенных системах 89
3.2.1. Распространенность 89

3.2.2. Распределение 94
3.2.3. Основные закономерности распространенности кларков земной коры 103
3.2.4. Основные закономерности распределения химических элементов в верхних частях земной коры 106
3.3. Химические элементы в биогенных системах 115
3.3.1. Общие сведения 115
3.3.2. Распространенность 118
3.3.3. Распределение 138
3.4. Химические элементы в биокосных системах 139
3.4.1. Общие сведения 139
3.4.2. Атмосфера 140
3.4.3. Гидросфера 141
3.4.4. Педосфера 142
3.4.4.1. Общие сведения 142
3.4.4.2. Некоторые геохимические особенности почв 144

Глава 4. Особенности кларков химических элементов почв селитебных ландшафтов 149

4.1. Общие сведения 149
4.2. Методика исследований по установлению кларковых содержаний химических элементов в почвах населенных пунктов 154
4.2.1. Общая информация о работах 154
4.2.2. Полевые работы 158
4.2.3. Подготовка проб к анализам 160
4.2.4. Аналитические работы и обработка результатов анализов 161
4.3. Особенности средних (кларковых) содержаний химических элементов, установленных для почв населенных пунктов начала XXI в. 163
4.3.1. Общие сведения об используемой информации 163
4.3.2. Кларки почв селитебных ландшафтов 166
4.3.3. Некоторые общие закономерности распространенности кларков ряда химических элементов почв селитебных ландшафтов 210

Глава 5. Некоторые геохимические особенности почв различных групп селитебных ландшафтов 222

5.1. Общие положения 222
5.2. Геохимические особенности почв городов с населением свыше 700 тысяч жителей 225
5.2.1. Общие сведения 225
5.2.2. Сравнение с кларковыми содержаниями почв Земли 227
5.2.3. Сравнение с кларковыми содержаниями земной коры 242
5.2.4. Сравнение с кларками почв населенных пунктов 249
5.2.5. Общие закономерности 251
5.3. Геохимические особенности почв городов с населением от 300 до 700 тысяч человек 252
5.3.1. Общие сведения 252
5.3.2. Сравнение с кларковыми содержаниями почв Земли 253
5.3.3. Сравнение с кларковыми содержаниями земной коры 258
5.3.4. Сравнение с кларками почв населенных пунктов ..261
5.3.5. Общие закономерности 261
5.4. Геохимические особенности почв городов с числом жителей от 100 до 300 тысяч 261
5.4.1. Общие сведения 261
5.4.2. Сравнение с кларковыми содержаниями почв Земли 265
5.4.3. Сравнение с кларковыми содержаниями земной коры 272
5.4.4. Сравнение с кларковыми содержаниями почв населенных пунктов 275
5.4.5. Общие закономерности 276
5.5. Геохимические особенности почв городов с числом жителей менее 100 тысяч человек 278
5.5.1. Общие сведения 278
5.5.2. Сравнение с кларковыми содержаниями почв Земли 279
5.5.3. Сравнение с кларковыми содержаниями земной коры 288
5.5.4. Сравнение с кларками почв населенных пунктов 291
5.5.5. Общие закономерности 292
5.6. Геохимические особенности почв небольших поселков, станиц, деревень, хуторов 293

5.6.1. Общие сведения 293
5.6.2. Сравнение с кларковыми содержаниями почв Земли 293
5.6.3. Сравнение с кларковыми содержаниями земной коры 297
5.6.4. Сравнение с кларками почв населенных пунктов 297
5.6.5. Общие закономерности 298
5.7. Геохимические особенности почв туристско-рекреационных зон 299
5.7.1. Общие сведения 299
5.7.2. Сравнение с кларковыми содержаниями почв Земли 300
5.7.3. Сравнение с кларковыми содержаниями земной коры 305
5.7.4. Сравнение с кларками почв населенных пунктов ..307
5.7.5. Общие закономерности 308
Заключение 309
Краткое содержание по главам 315
Литература 335
Приложения 348

CONTENTS

Preface 14
Introduction 18

Chapter 1. The notions related to geochemical systems and landscapes 22

1.1. Geochemical systems 22
1.1.1. General information about the geochemical systems 22
1.1.2. Basic requirements for studying and characterization of geochemical systems 27
1.2. Elementary and geochemical landscapes..... 31
1.2.1. General information 31
1.2.2. Classification 38
1.3. The behavior of chemical elements in the biosphere and its constituent separate geochemical systems 43
1.3.1. General information 43
1.3.2. The abundances of chemical elements..... 44

1.3.3. Forms of occurrence of chemical elements 47
1.3.4. Biogeochemical peculiarities of systems..... 50
1.3.5. The scatter of chemical elements 51

Chapter 2. The major features of geochemical processes in urban landscapes 56

2.1. General information about urban landscapes 56
2.2. Classification of urban landscapes 56
2.3. Classification of landscapes representing in aggregate a single urban landscape..... 60
2.4. Peculiarities of the technogenic contamination of urban landscapes 67
2.5. Ecological-geochemical anomalies of urban landscapes 68

Chapter 3. The abundances, local background concentrations and the scatter of chemical elements in certain geochemical systems of the biosphere 88

3.1. General information 88
3.2. Chemical elements in abiogenic systems..... 89
3.2.1. Abundance 89
3.2.2. Distribution 94
3.2.3. The main peculiarities of abundances in the Earth's crust..... 103
3.2.4. The main peculiarities of abundances in the upper parts of the Earth's crust..... 106
3.3. Chemical elements in biogenic systems 115
3.3.1. General information 115
3.3.2. Abundance 118
3.3.3. Distribution 138
3.4. Chemical elements in organomineral systems..... 139
3.4.1. General information 139
3.4.2. Atmosphere..... 140
3.4.3. Hydrosphere..... 141
3.4.4. Pedosphere..... 142

Chapter 4. The characteristics of abundances of chemical elements in urban soils 149

4.1. General information 149
4.2. Research methods of characterization the abundances of chemical elements in urban soils 154

4.2.1. General information about the researches 154
4.2.2. Field explorations 158
4.2.3. Sample preparation for analyses 160
4.2.4. Analyses and their results treatment 161
4.3. The characteristics of abundances of chemical elements in urban soils established for the beginning of the XXI century 163
4.3.1. General information about the used data 163
4.3.2. The abundances of chemical elements in urban soils 166
4.3.3. Several general laws of abundances of chemical elements in urban soils 210

Chapter 5. Some features of soils belonging to different groups of urban landscapes 222

5.1. General provisions 222
5.2. Geochemical features of soils of cities with the number of population more than 700 thousand 225
5.2.1. General information 225
5.2.2. Comparison with the abundances in the Earth's soil cover 227
5.2.3. Comparison with the abundances in the Earth's crust 242
5.2.4. Comparison with the abundances in urban soils 249
5.2.5. General features 251
5.3. Geochemical features of soils of cities with the number of population more than 300–700 thousand 252
5.3.1. General information 252
5.3.2. Comparison with the abundances in the Earth's soil cover 253
5.3.3. Comparison with the abundances in the Earth's crust 258
5.3.4. Comparison with the abundances in urban soils 261
5.3.5. General features 261
5.4. Geochemical features of soils of cities with the number of population more than 100–300 thousand 261
5.4.1. General information 261
5.4.2. Comparison with the abundances in the Earth's soil cover 265
5.4.3. Comparison with the abundances in the Earth's crust 272
5.4.4. Comparison with the abundances in urban soils 275
5.4.5. General features 276
5.5. Geochemical features of soils of cities with the number of population less than 100 thousand 278
5.5.1. General information 278
5.5.2. Comparison with the abundances in the Earth's soil cover 279
5.5.3. Comparison with the abundances in the Earth's crust 288
5.5.4. Comparison with the abundances in urban soils 291
5.5.5. General features 292
5.6. Geochemical features of soils of small towns, villages, hamlets 293
5.6.1. General information 293
5.6.2. Comparison with the abundances in the Earth's soil cover 293
5.6.3. Comparison with the abundances in the Earth's crust 297
5.6.4. Comparison with the abundances in urban soils 297
5.6.5. General features 298
5.7. Geochemical features of soils of tourist and recreational areas 299
5.7.1. General information 299
5.7.2. Comparison with the abundances in the Earth's soil cover 300
5.7.3. Comparison with the abundances in the Earth's crust 305
5.7.4. Comparison with the abundances in urban soils 307
5.7.5. General features 308

Conclusion 309
Summary of chapters 324
References 335
Applications 348

Обращение к читателю

Представляемая монография Алексеенко В. А. и А. В. посвящена памяти замечательного геохимика, учителя одного из авторов, выдающегося специалиста, лауреата Государственных премий СССР проф. Перельмана А. И. Она адресована широкой общественности, ученым и специалистам в области наук о Земле и охраны окружающей среды.

В основной части работы рассматриваются геохимические особенности почв населенных пунктов. Детально рассмотрена методика установления содержаний в них различных элементов, в разработке которой принимали участие авторы и многие мои коллеги.

Весьма интересные данные получены авторами при сравнении геохимических особенностей почв населенных пунктов со стандартами почв других территорий. Они позволяют по-новому рассмотреть влияние природных факторов и техногенеза, в особенности, на условия миграции и концентрации химических элементов. Авторы убедительно показывают связь геохимии почв с интенсивностью изменений природных условий, с мощным индустриальным и сельскохозяйственным использованием почвенных ресурсов. Ранее наличие такой связи не было изучено так глубоко, как это сделано авторами.

Считаю, что рассматриваемая работа найдет широкого читателя, будет полезна большому числу исследователей, работающих в области наук о Земле, будет содействовать мерам, направленным на охрану окружающей среды.

Н. П. Лаверов
Вице-президент РАН

Посвящается памяти выдающегося геохимика Александра Ильича Перельмана. Одному из авторов посчастливилось жить, работать и дружить с этим замечательным человеком.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Экологическая геохимия сравнительно недавно начала оформляться как самостоятельная «ветвь» общей геохимии. (Первый учебник по экологической геохимии вышел в 2000 г.). В этой науке, как и в общей геохимии по В. И. Вернадскому, «история атомов химических элементов», рассматривается но только в пределах *биосферы,* а не всей Земли. Сама биосфера представляет собой верхнюю оболочку Земли, населенную растительными и животными организмами. Таким образом, биосфера является частью более крупной и уже довольно хорошо изученной геохимической системы – *земной коры.*

В пределах всей земной коры за время существования живого вещества, по крайней мере, за время существования человека, в результате процессов миграции-концентрации химических элементов их распространенность (содержание) практически не изменилась, за исключением ряда радиоактивных элементов и продуктов их распада, а также инертных газов. Однако существенно изменилось распределение химических элементов. По иной схеме развивалась (и продолжает развиваться) история атомов химических элементов в биосфере. В пределах этой геохимической системы изменилось не только распределение элементов, но и их содержание. Особенно большими изменениями распространенности химических элементов отличаются сравнительно мелкие геохимические системы, составляющие в сумме саму биосферу. К таким системам относятся различные геохимические ландшафты, а также являющиеся уже их частью почвы, различные растительные и животные организмы, вода, атмосфера.

Скорость геохимических изменений, происходящих в последние десятилетия в биосфере, стала катастрофически быстрой. В основном эти изменения связаны с антропогенной деятельностью. Их изучение могло бы рассматриваться лишь как одна из многих важных, но не первоочередных научных проблем, если бы эти изменения напрямую не касались здоровья (а иногда

и вообще существования) людей. Пока наиболее катастрофические изменения охватили еще не всю биосферу, а лишь некоторые геохимические системы, являющиеся ее отдельными частями. Однако для того, чтобы понять направленность и интенсивность изменений, нужно сравнивать геохимические особенности рассматриваемых систем до начала изучаемых процессов и после их окончания, или окончания их отдельных этапов. Это, к сожалению, не всегда возможно, а во многих случаях необходим определенный «репер», своеобразная «точка отсчета» в содержаниях химических элементов. При большинстве исследований за такую «точку отсчета» берутся кларковые содержания элементов, установленные для почв, живого вещества, вод. Однако детальные (в том числе и мониторинговые) исследования показали, что, во-первых, кларки биокосных и биогенных систем изменяются даже на протяжении жизни одного человека. Во-вторых, при расчете используемых в настоящее время кларковых содержаний были сделаны очень большие допущения. Так, например, кларк живого вещества, с которым очень часто сравнивают содержание не только элементов в сельскохозяйственной продукции, но и в животных организмах, включая даже человека, на самом деле представляет собой среднее содержание элементов в древесной растительности. Это является одной из причин необходимости установления *средних содержаний химических элементов отдельно в различных частях биосферы и на определенный временной срез.*

Такие содержания необходимы при сравнении геохимических (в том числе биогеохимических) последствий процессов, происходящих в различных частях (и при различных условиях) биосферы. Данные о содержаниях химических элементов в этих частях крайне важны для установления закономерностей и законов поведения химических элементов как в биосфере в целом, так и в составляющих ее различных геохимических системах. Без знания этих закономерностей невозможен достаточно достоверный научно обоснованный прогноз изменений, невозможна и выработка обоснованных рекомендаций по дальнейшему развитию антропогенной деятельности как в целом для всего человечества, так и для такой деятельности в пределах отдельных, конкретных частей биосферы.

В данной работе рассматривается распространенность и частично распределение (их первые закономерности) химических элементов в почвах населенных пунктов начала XXI в. Следующими этапами исследований должны стать установление содержаний химических элементов в городской и лесной растительности, в почвах сельскохозяйственных ландшафтов, в прибрежной водной растительности.

Авторы понимают всю сложность проведения исследований для решения указанных проблем. Однако такая работа крайне необходима и начинать ее следует уже сейчас.

Изданию предлагаемой книги способствовали многие люди. Их фамилии перечислены в разделе 4.2 «Методика исследований по установлению кларковых содержаний химических элементов в почвах населенных пунктов».

Нелегкий труд ознакомления с рукописью взяли на себя рецензенты: доктора геолого-минералогических наук, профессора Забайкальского государственного университета В. С. Салихов А. И. Трубачев (РФ, г. Чита); доктор геолого-минералогических наук, профессор Национального исследовательского государственного университета В. П. Парначев (РФ, г. Томск); доктор геолого-минералогических наук, профессор, зав. Лабораторией геохимии и рудогенеза Г. А. Юргенсон (РФ, СО РАН); кандидат геолого-минералогических наук, доцент Казахского национального технического университета им. К. И. Сатпаева Н. Т. Кулкашев (Казахстан, г. Алматы); доктор геологических наук, профессор Донецкого национального университета В. И. Алехин (Украина, г. Донецк). Наряду с положительной оценкой рукописи, рецензенты высказывали свои отдельные замечания и пожелания. Как и обычно бывает, при большом числе оценок то, что нравилось одному из читателей рукописи, вызывало замечания у другого. Поэтому авторы постарались учесть значительную часть замечаний и пожеланий.

Всем лицам, принимавшим участие в подготовке издания и в обсуждении рукописи, авторы выражают самую искреннюю признательность.

Особую благодарность мы выражаем вице-президенту РАН академику Н. П. Лаверову за совместную разработку методики работ, за ценные и благожелательные замечания и помощь в проведении анализов.

Авторы

ВВЕДЕНИЕ

К началу XXI в. Экологическая геохимия начинает переходить от стадии накопления данных о содержании химических элементов в различных частях биосферы к объяснению и прогнозу процессов миграции – концентрации элементов в зависимости как от внутренних (кристаллохимических), так и от внешних (климатических, антропогенных и ландшафтно-геохимических) факторов миграции. При этом **назрела необходимость переходить от качественной характеристики геохимических процессов, происходящих в биосфере, к количественной и к обоснованному, и тоже количественному, прогнозу их последствий.**

К настоящему времени, судя по многочисленным публикациям, появился огромный фактический материал, позволяющий говорить об изменениях содержаний химических элементов в различных геохимических системах биосферы, под влиянием довольно часто изменяющихся и разнообразных техногенных факторов. Несколько меньше данных о влиянии, также часто изменяющихся, природных ландшафтно-геохимических факторов и, как ни странно, чрезвычайно мало работ о связи концентраций элементов в указанных системах с внутренними факторами миграции, обусловливаемыми в основном *постоянными геохимическими (кристаллохимическими) характеристиками* атомов, ионов и их определенных соединений. Отметим сразу, что только **изучение совместного влияния внутренних и внешних факторов на концентрацию элементов в различных системах биосферы** позволит объяснить протекание в них (системах) процессов миграции-концентрации и дать достоверный прогноз эколого-геохимическим изменениям в биосфере.

Для решения указанных проблем (объяснения и количественной оценки техногенно-природных процессов, а также достоверного количественного прогноза изменений эколого-геохимической ситуации, происходящих под воздействием этих процессов) появились определенные объективные предпосылки: 1 – изменения эколого-геохимической обстановки стали сказываться на безопасности жизнедеятельности и, в конечном счете, на устойчивом развитии как отдельных регионов, так и целых стран; 2 – сами проблемы перешли из разряда чисто геохимических

в экономические и даже политические; 3 – сделали большой скачок в своем развитии такие составные части геохимии, можно даже сказать экологической геохимии, как биогеохимия и учение о геохимических барьерах.

Эти объективные предпосылки, требующие скорейшего решения указанных проблем и, в конечном счете, во многом определяющие дальнейшее развитие всей экологической геохимии, ставят перед исследователями две крупные первоочередные задачи:

а) Установление основных закономерностей и законов развития эколого – геохимических изменений в биосфере и в составляющих ее геохимических системах.

б) Определение средних содержаний химических элементов в биосфере в целом и в отдельных, составляющих ее (сначала крупных, а затем и в небольших) геохимических системах.

Открытие первых законов, правил и закономерностей развития эколого-геохимических изменений в биосфере и в составляющих ее частях уже началось и, вероятно, будет продолжаться довольно длительный промежуток времени. Эту длительность можно объяснить постепенным (и также довольно продолжительным) накоплением данных о содержаниях химических элементов и особенностях их миграции-концентрации в меняющихся (в основном под воздействием антропогенной деятельности) условиях биосферы. Использование установленных к настоящему времени эколого-геохимических законов и правил уже началось в практической деятельности, но идет сравнительно медленно. Это связано с тем, что научные статьи и монографии, а главное – учебники для студентов вузов, в которых изложены законы, изданы сравнительно недавно и предназначены, в основном, для геохимиков, географов, геологов. А знать эти законы и закономерности должны и геоэкологи, и почвоведы, и биологи. Главное же, *их должны знать и учитывать люди, принимающие решения, связанные с развитием регионов.* Следовательно, ожидать широкого использования установленных закономерностей можно после того, как изучающие их студенты станут ведущими специалистами.

Однако даже постепенное решение этой задачи практически невозможно без решения второй из вышеуказанных задач.

Постоянно имея дело с содержанием элементов в различных геохимических системах, следует знать какие-то «отправные точки» отсчета этих содержаний, своеобразные «реперы» для последующих выводов.

Не имея таких «отправных точек», *во-первых,* практически невозможно сравнивать содержания, *в различных крупных биосферных системах*, а без этого нельзя делать выводы о многих законах и закономерностях развития эколого-геохимических изменений в биосфере.

Во-вторых, проводя исследования *в крупных и весьма удаленных друг от друга системах* биосферы, трудно (а часто и невозможно) говорить об их геохимической (биогеохимической) специализации, не имея определенных «реперов»

В-третьих, даже при изучении таких относительно *небольших геохимических систем биосферы*, как отдельные (в первую очередь – техногенные) геохимические ландшафты и их определенные совокупности (а в их пределах находится и работает большинство населения) практически всегда возникает необходимость сравнения геохимических (биогеохимических) особенностей данных систем с соседними и с особенностями характерными для всей биосферы.

В-четвертых, изучая *небольшие геохимические системы*, необходимо сравнивать содержание в них химических элементов с их содержанием в крупных, региональных системах, составной частью которых являются эти небольшие системы. В этих случаях появляется необходимость геохимических сравнений отдельных участков не только с биосферой, но и с ее крупными региональными частями, обладающими характерной для них геохимической специализацией.

В-пятых, сравнивая между собой отдельные *небольшие геохимические системы* и устанавливая последствия происходящих в них геохимических процессов (в большинстве случаев антропогенных) нужно достоверно знать особенности поведения в этих системах различных химических элементов (и в первую очередь знать их содержания).

В-шестых, использовать различные варианты предельно допустимых концентраций элементов весьма сложно (Алексеенко, 1997–2006 и др.), так как они (ПДК, ОДК и т. п.) устанавливаются довольно произвольно и весьма различны в разных странах. Довольно часто для этих целей используются кларковые содержания.

Таким образом, определение распространенности (содержаний) химических элементов как в биосфере в целом, так и в отдельных составляющих ее геохимических системах нужно не только для установления эколого-геохимических закономерностей и законов (что уже само по себе чрезвычайно важно), но и для целого ряда первоочередных практических работ. Выше мы перечислили ряд важнейших к настоящему времени причин, требующих скорейшего проведения исследований по установлению содержаний химических элементов в различных геохимических системах биосферы. В предлагаемом издании приводятся сведения о первых результатах таких многолетних исследований, проведенных авторами в одной из геохимических систем, важнейших для обеспечения нормальной жизнедеятельности населения – в почвах ландшафтов населенных пунктов.

Подавляющее число жителей нашей планеты проводит большую часть своей жизни в этих ландшафтах, а основной депонирующей средой в населенных пунктах является специфическая геохимическая система – почвы населенных пунктов.

ГЛАВА I

ПОНЯТИЕ О ГЕОХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ И ЛАНДШАФТАХ

1.1. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

1.1.1. Общие сведения о геохимических системах

Система (по-гречески *systema*) – целое, составленное из частей. В «Словаре русского языка» С. И. Ожегова система определяется как «нечто целое, представляющее собой единство закономерно расположенных и находящихся во взаимной связи частей» (1982). В настоящее время существует общая теория систем. Ее основные понятия широко используются практически во всех отраслях естественных и общественных наук. В общем учении о системах по Жерару (Раппорт, 1969) сложились следующие три важнейших требования к их характеристике:

1. Должны быть рассмотрены особенности отношений между частями (элементами), составляющими систему. Это требование отвечает характеристике структуры системы.

2. Необходимо изучить совокупность реакций системы на изменение внутренних и внешних условий среды, что в общем случае соответствует функции системы.

3. Следует знать историю системы, т. е. происходящие в ней изменения за достаточно продолжительный промежуток времени. Он для каждой системы может быть различным, но должен охватывать основные изменения, происходившие с системой.

Многие из изменений могут иметь необратимый характер. Для биологических (живых) и биокосных систем, в соответствии с законом необратимости эволюции Л. Далло, рассмотренном Н. Ф. Реймерсом (1990), возвращение к прежнему состоянию невозможно вообще.

Обычно системы разделяются на абстрактные и материальные. К первым относятся различные понятия, гипотезы, теории. Вторые, как правило, многие исследователи традиционно разде-

ляют лишь на ***«живые»,*** биологические (или биогенные) и ***системы неорганической природы*** (или абиогенные). (К последним относится и значительная часть геохимических систем.)

Так, к абиогенным системам можно отнести мантию; различные типы горных пород, незаселенные организмами; отдельные минералы и т. д. К настоящему времени накоплен огромный опыт их геохимического, петрографического, минералогического и более детальных методов анализов. К биогенным – можно отнести деревья, кустарники, травы, определенные виды животных, птиц, рыб и т. д. Крупнейшей биогенной структурой являются все живые организмы Земли, рассматриваемые вместе и обособленные В. И. Вернадским как «живое вещество планеты» (1994).

Понятие о **геохимических системах** было введено в науки о Землев 1934 г. А. Е. Ферсманом. Им же впервые были выделены такие геохимические системы, как геохимические щиты, пояса, узлы, провинции, области и т. д. Все они являются своеобразными частями земной коры, отличающимися распространенностью и распределением химических элементов. По А. Е. Ферсману, они представляют собой «такого рода природные сочетания элементов, которые вызываются или основными геотектоническими циклами земной коры, или климатическим режимом определенных широтных зон» (1955–1959). Сама земная кора также является геохимической системой, но, понятно, гораздо большего размера. До настоящего времени ее как единую геохимическую систему рассматривали сравнительно редко, хотя еще при расчете средних содержаний составляющих ее элементов она предполагалась очень крупной, но самостоятельной и, условно, достаточно однородной системой.

Выделялись в качестве самостоятельных такие геохимические системы, как система гипергенеза, галогенеза, биогенеза, техногенеза, гидросферы, атмосферы. Как видно только из этого перечня геохимических систем, их составляют и абиогенные, и биогенные системы. Изучению последних посвящен особый раздел геохимии – биогеохимия. Развитие этой чрезвычайно важной и интересной науки связано с работами многих исследователей: В. И. Вернадского; Э. М. Галимова; В. В. Добровольского, В. В. Ермакова, Ю. И. Ермохина, П. В. Ивашова, В. Б. Ильина

и А. И. Сысо; Н. С. Касимова и В. Н. Башкина, А. Л. Ковалевского, Н. В. Лебедевой, Д. П. Малюги, А. Е. Мирошникова, М. С. Панина, А. И. Перельмана, Г. Т. Тайсаева, авторов и многих других.

В последние десятилетия прошлого века, в связи с широким развитием поисков месторождений полезных ископаемых геохимическими методами, а в еще большей мере в связи с необходимостью решения многих экологических проблем, данному разделу уделялось все возрастающее внимание. При этом опережающее развитие стало получать изучение геохимических особенностей биосферы и составляющих ее частей – геохимических ландшафтов. Появилась новая наука – экологическая геохимия (2000).

Все это вызвало особую потребность в более детальном рассмотрении такой разновидности геохимических систем, как биокосные. Открытие первых биокосных систем (ими были почвы) связано с работами В. В. Докучаева. Дальнейшее развитие учения об этих системах продолжил его ученик В. И. Вернадский. Рассматриваемые системы при многих исследованиях, а особенно при изучении эколого-геохимических изменений, необходимо выделять и рассматривать отдельно от всех ранее перечисленных.

В ***биокосных системах*** живые организмы и неорганическая материя (косное вещество) неразрывно связаны между собой. Для них (косного и живого вещества) характерны взаимопроникновение и взаимообусловленность, вместе они составляют единое целое. Несмотря на это, в каждой биокосной системе существует резкая, непреодолимая, по В. И. Вернадскому, граница между живым и косным веществом. Именно существование этой границы предопределило, при проведении многих исследований, отдельное изучение косной и живой составных частей единых биокосных систем. Это не является ошибкой, но при отдельном изучении этих частей мы и получаем информацию только об этих частях, а не о системе в целом. В результате полученная информация часто довольно абстрактна и не характеризует всю биокосную систему, в которой, как уже указывалось, косное и живое вещество неразрывно связаны между собой и взаимообусловлены.

Примером более объективного, биогеохимического подхода к изучению биокосной системы является изучение биологического круговорота элементов (БИК) в таких системах, как геохимические ландшафты. В этих случаях учитывается количество химических элементов, поступающих из косной части системы в организмы и последующий их (элементов) переход снова в косную часть системы.

К биокосным системам, кроме уже названных почв и геохимических ландшафтов, относятся илы, природные воды, верхняя, населенная организмами часть земной коры и т. д. В настоящее время все биокосные системы испытывают сильное и всевозрастающее техногенное воздействие.

При высоком уровне техногенной нагрузки образуются ***техногенные геохимические системы***. Они характеризуются ведущим значением техногенной миграции. При этом в виде своеобразных реликтов могут сохраняться и все остальные виды миграции. Примерами техногенных систем являются техногенные геохимические ландшафты. Из них в сельскохозяйственных и в селитебных в наибольшей мере сохранилась биогенная миграция, в то время как в промышленных ее доля довольно мала.

Особо следует отметить, что техногенные геохимические системы образуются как за счет самых различных биогенных, так и на месте абиогенных (ледников) систем. В результате **техногенеза** (термин предложен А. Е. Ферсманом *для обозначения процессов миграции и концентрации химических элементов, происходящих под воздействием деятельности людей*) могут возникать и техногенные биокосные системы. К настоящему времени их уже довольно много. К ним относятся и выращиваемые в горшках и ящиках цветы на подоконниках и балконах, и более сложные системы на космических кораблях, и часть техногенных геохимических ландшафтов. Следовательно, биокосные системы нельзя считать только природными образованиями, что в настоящее время вызывает еще больший интерес к их изучению.

Таким образом, с учетом форм движения материи, основные геохимические системы можно разделить на: **1 – абиогенные** (неорганической природы), **2 – биологические** (живые), **3 – биокосные** и **4 – техногенные**. Это деление геохимических систем было осуществлено А. И. Перельманом (1989). Некоторые ис-

следователи выделяют дополнительно «геотехногенные» системы, образующиеся из техногенных под воздействием природных факторов. Мы в данной работе придерживаемся взглядов А. И. Перельмана.

В зависимости от целей и масштаба исследований в отдельных случаях геохимические системы можно (конечно, **только условно**) рассматривать как достаточно **однородные**.

Однако даже в этих относительно редких случаях, для того чтобы геохимическую систему считать условно однородной, необходимо соблюдение ряда условий. К таким условиям следует отнести достаточно равномерное (при рассмотрении в конкретном масштабе) распределение составляющих ее как крупных частей, так и отдельных атомов и ионов химических элементов. Кроме того, желательно, чтобы для одного и того же химического элемента (иона или соединения) распределение в разных частях системы подчинялось одному и тому же статистическому закону, характеризовалось аналогичными величинами дисперсии и других статистических показателей. Однако подчеркнем еще раз, что геохимические системы являются только условно однородными, а при увеличении детальности (масштаба) исследований практически все составные части природных и техногенных геохимических систем можно и нужно рассматривать как новые, меньшие по размерам геохимические системы. Они могут отличаться друг от друга по распространенности и по распределению элементов, по соотношению составляющих их химических элементов, находящихся в различных формах.

Почвы селитебных геохимических ландшафтов, рассмотрению которых уделено основное внимание в данном исследовании, относятся к биокосным системам. При их изучении мы старались учесть то, что они неоднородны даже в пределах одного населенного пункта. В то же время, объединяя в отдельные группы почвы многих селитебных ландшафтов по определенным признакам (например, по числу жителей, климатическим условиям и т. д.), а также определяя средние содержания элементов для всех селитебных ландшафтов, мы, в соответствии с масштабом работ, принимали рассматриваемую систему как условно однородную. Собственно только так и можно определять кларковые и средние содержания химических элементов в геохимических системах.

1.1.2. Основные требования к изучению и характеристике геохимических систем

Выше были указаны три основных общих требования к характеристике и изучению вообще любой системы. Геохимическое изучение природных и техногенных систем, составляющих биосферу, вносит определенные особенности и уточнения к этим требованиям.

Так, 1 – *Особенности отношений между частями, составляющими систему*, при принятии ее условно однородной, должны рассматриваться как химические (геохимические) отношения между атомами (ионами) химических элементов или их определенных соединений. В случаях, когда система рассматривается как неоднородная, кроме этого необходимо изучать геохимические отношения между основными (при данном масштабе исследований) частями, составляющими эту систему. Такое изучение особо необходимо при характеристике биокосных систем.

2 – *Реакция геохимической системы на изменение внешних условий* должна определяться как минимум по следующим показателям:

а) по изменениям распространенности (содержаний) элементов или их определенных соединений в системе в целом или в ее отдельных частях;

б) по изменениям распределения химических элементов также в системе в целом, или в составляющих ее частях;

в) по изменениям форм нахождения или изменениям соотношений между формами нахождения химических элементов, составляющих систему или ее части.

К числу основных геохимических факторов, которые воздействуют «извне» на рассматриваемую (особенно биокосную) систему и изменение которых может оказать существенное воздействие на эту систему или на составляющие ее отдельные части, следует отнести следующие, проявляющиеся в среде, окружающей интересующую нас систему:

- изменение концентраций химических элементов (их соединений);
- изменение распределения химических элементов (их соединений);

- изменение форм нахождения химических элементов;
- изменение режима «кислорода–серы»;
- изменение кислотно-щелочных условий;
- изменение сорбционных свойств среды, граничащей с изучаемой системой;
- изменение ландшафтно-геохимических факторов миграции элементов (их соединений) в зоне контакта с изучаемой системой;
- изменение радиационной обстановки на границе с изучаемой системой.

Если производится не только геохимическое, но и физико-химическое изучение системы, то при ее характеристике значительное внимание должно уделяться, кроме указанных показателей, основным термодинамическим – температуре и давлению.

В случаях решения экологических проблем и при изучении биокосных систем с точки зрения развития живого вещества перечисленные показатели необходимо рассматривать еще и с позиции комфортности развития (а часто даже возможности существования вообще) определенных организмов или всего живого вещества в целом. Необходимо особо отметить, что в таких случаях кристальное внимание должно уделяться радиоактивным элементам, ибо их радиоактивное воздействие на организмы во многом отлично от химического.

Изменение внутренних условий среды (геохимической системы) без вышерассмотренного внешнего воздействия обычно может происходить только в результате саморазвития этой системы. Так, например, возможно изменение биокосной системы в результате эволюции организмов. Такая изменяющаяся система с точки зрения геохимии будет также характеризоваться уже рассмотренными показателями, а точнее их изменениями, происшедшими в результате саморазвития рассматриваемой системы.

3 – *История изменений, происходящих в природной геохимической системе,* всегда была одной из основных задач геохимии. Основатель этой науки – В. И. Вернадский – называл геохимию «историей атомов химических элементов». При рассмотрении крупных геохимических систем в большинстве случаев

изучаются изменения, происходящие за достаточно продолжительный промежуток времени. Однако и здесь есть исключения: в последнее время производится изучение практически современных изменений, происходящих в такой крупнейшей природной геохимической системе, как вся биосфера, за ничтожно малый (по сравнению с ее существованием) отрезок времени. Во многом это связано со всевозрастающим техногенным воздействием на миграцию и концентрацию химических элементов в этой системе, а также с тем, что ряд техногенных факторов не имеет природных аналогов.

Необходимо отметить, что существенные изменения в биосфере происходили за очень короткий промежуток времени и без вмешательства человека. Их причинами были падение крупных метеоритов (космические катастрофы), извержения вулканов и т. д. Эти изменения относятся, хотя и к природным, но к катастрофически быстрым, революционным. В целом же в истории развития биосферы преобладали не революционные, а постепенные, эволюционные изменения. Изменения, вызываемые техногенезом, по скорости развития могут быть сравнимы с природными катастрофами, во время которых погибало значительное количество организмов. Судя по ряду данных, во время таких катастроф исчезали даже многие виды. Так, по гипотезе Альвареса (а она находит геохимические подтверждения), «великое меловое вымирание» объясняется падением гигантского метеорита (метеоритов).

Еще быстрее, чем во всей биосфере, в последние десятилетия (а их можно рассматривать как мгновения в истории биосферы) происходят изменения в таких системах, как отдельные геохимические ландшафты. При этом огромная *часть изменений является весьма существенной, коренной.* К ним, в первую очередь, следует отнести замену природных геохимических ландшафтов техногенными, с изменением основного для них вида миграции химических элементов. Для изучения многих (чаще всего очень быстро протекающих) изменений проводятся специальные мониторинговые исследования. Они представляют собой наблюдения, проводимые постоянно или через определенные промежутки времени за интересующим процессом или развитием определенной системы, с целью изучения происходящих

изменений во времени, выявления соответствия (или несоответствия) полученных результатов предполагаемым или планируемым последствиям наблюдаемых явлений.

Основным глобальным изменением биосферы последнего времени является ее переход в новую, тоже биокосную геохимическую систему – ноосферу. Сейчас мы переживаем самый ранний, начальный период этого перехода. При его геохимической характеристике, кроме выше рассмотренных трех важнейших общих показателей изменений систем, целесообразно дополнительно использовать еще и такие, как:

1 – соотношения масс химических элементов, находящихся и мигрирующих в биосфере в различных формах, в разные этапы формирования ноосферы;

2 – изменения интенсивности миграции химических элементов в биосфере за определенный промежуток времени;

3 – формирование новых геохимических барьеров;

4 – изменение дальности миграции химических элементов (их соединений), находящихся в различных формах;

5 – распределение химических элементов.

Рассматриваемые требования относятся и к изучению крупных, биосферных систем, и к изучению таких относительно небольших, но чрезвычайно важных для безопасности населения и устойчивого развития регионов, систем, как почвы селитебных ландшафтов.

1. Частями, составляющими эти системы, являются почвы разных участков одного и того же населенного пункта с различной техногенной нагрузкой (включая интенсивность движения транспорта, этажность застройки, близость промышленных предприятий и т. д.) и с различными природными условиями (геологическое строение, геоморфологические особенности и т. д.).

2. К основным внешним условиям, на изменение которых должны реагировать почвы различных населенных пунктов, следует относить не только особенности ландшафтов, окружающих (рядом расположенных) с рассматриваемыми населенными пунктами, но и климатические особенности каждого района.

3. Рассматривая историю изменений, происходящих в изучаемых системах (почвах селитебных ландшафтов), мы в этой книге

опирались на мониторинговые исследования последних десятилетий. В случаях с относительно молодыми городами использовались данные о геохимических особенностях ландшафтов, за счет которых и на месте которых возникли населенные пункты.

Нами также, кроме распространенности, рассматривалось распределение химических элементов в почвах различных групп городов и различных геохимических ландшафтов одного и того же города.

Таким образом, при изучении почв населенных пунктов были соблюдены основные требования, необходимые для объективной характеристики геохимических систем.

1.2. ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ЛАНДШАФТЫ

1.2.1. Общие сведения

Многочисленные исследования показали, что наиболее удобным уровнем организации материи при изучении процессов, протекающих в биосфере, и при анализе геохимических последствий этих процессов является ландшафтный (ландшафтно-геохимический). Он включает два основных типа биокосных систем: элементарный и геохимический ландшафты.

Элементарный природный ландшафт, по мнению основателя учения о геохимии ландшафта Б. Б. Полынова, «в своем типичном проявлении должен представлять один определенный тип рельефа, сложенный одной породой или наносом и покрытый в каждый момент своего существования определенным растительным сообществом. Все эти условия создают определенную разность почвы и свидетельствуют об одинаковом, на протяжении элементарного ландшафта, развитии взаимодействия между горными породами и организмами».

С точки зрения геохимии при *обособлении этих геохимических систем учитываются: 1 – важнейшие источники химических элементов, поступающих в ландшафт, и 2 – основные особенности внешних факторов миграции элементов,* получивших в последнее время название «ландшафтно-геохимических».

Опыт работы позволяет считать, что при прикладном использовании учения о геохимии ландшафта к факторам, о которых

писал Б. Б. Полынов, во многих случаях следует добавлять особенности атмосферной миграции элементов, состав подземных вод, вероятное наличие многолетней мерзлоты, режим кислорода и серы (Алексеенко, 2000, 2006). Важнейшим же постоянным источником химических элементов в ландшафте являются почвообразующие (подстилающие) горные породы.

Одной из особенностей выделения элементарных ландшафтов является обязательное отсутствие внутренних причин, ограничивающих площадь их распространения. Эта особенность была положена в основу разработанного А. И. Перельманом *критерия выделения элементарного ландшафта:* «При отнесении какого-либо участка земной поверхности к элементарному ландшафту необходимо учитывать возможность (хотя бы мысленную) распространения данного элементарного ландшафта на значительно большей территории» (1975).

Исходя из этого критерия, такую геохимическую систему, как даже небольшое пятно солончака, можно считать элементарным ландшафтом, а, например, болотную кочку или муравейник – нельзя. Эти образования называются ***деталями ландшафта.***

Учитывая все эти положения, к *одинаковым природным и техногенным элементарным ландшафтам следует относить такие участки биосферы, у которых в аналогичных геоморфологических условиях на аналогичных почвообразующих (подстилающих) корах выветривания (горных породах) развиты одинаковые разности почв, покрытые одинаковыми растительными сообществами. Одинаковые элементарные ландшафты должны также характеризоваться аналогичным химическим составом подземных вод; аналогичными особенностями миграции (концентрации) химических элементов, переносимых в атмосфере; одинаковыми условиями развития (отсутствия) многолетней мерзлоты и распространения по вертикальному профилю свободного кислорода* (Алексеенко, 2000). Кроме того, *должны отсутствовать рассмотренные выше внутренние причины*, способные ограничивать площадь распространения этих элементарных ландшафтов.

К числу основных показателей, характеризующих элементарный ландшафт, относят (Перельман, 1975; Перельман, Касимов, 1999) площадь выявления и мощность ландшафта. ***Площадью выявления*** является наименьшая площадь, на которой размещаются все части рассматриваемого ландшафта.

Мощность ландшафта определяется расстоянием от зоны распространения в тропосфере пыли земного происхождения и обитания организмов до горизонта грунтовых вод (Перельман, 1975). Однако при большинстве практических работ, проводимых на ландшафтно-геохимической основе, мощность ландшафта ограничивают сверху приземной атмосферой, охватывающей воздушные слои над самыми высокими растениями и самыми высокими постройками в ландшафтах, созданных и преобразованных человеком, а снизу – коренными горными породами (корами выветривания). Ее предложено назвать ***действенной мощностью*** (Алексеенко, 2001).

Несмотря на рассмотренные выше, в общем-то, стандартные требования к выделению элементарного ландшафта, он *относительно неоднороден* как в горизонтальном, так и в вертикальном направлении. По горизонтали неоднородность конкретного ландшафта в основном определяется его деталями. В целом же горизонтальная неоднородность ландшафтного строения, и в первую очередь яруса почв, связана с перемещениями по поверхности самих почв и продуктов выветривания горных пород, а также с неоднородным поступлением веществ в почву «через атмосферу». Все указанные причины могут быть и природными, и техногенными.

Природное горизонтальное перемещение материала в основном обусловливается геоморфологическими особенностями конкретного участка и связанными с ними такими факторами, как движение ледников, сход селевых потоков и т. д. На техногенное горизонтальное перемещение оказывают влияние вырубка лесов, распахивание почв и их непосредственное перемещение. Последнее принимает особо большие размеры *в ландшафтах населенных пунктов.*

Неравномерное поступление веществ, связанное с атмосферным переносом, чаще всего вызвано неравномерным распределением в плане загрязнителей атмосферы и различным составом выбрасываемых ими загрязняющих веществ. Кроме того, несомненное влияние на горизонтальную неоднородность ландшафтов оказывает наличие природных и техногенных механических

барьеров, находящихся на пути воздушного потока. И опять-таки наибольшая горизонтальная неоднородность, связанная с атмосферными выпадениями, обычно характерна для *селитебных ландшафтов.*

Неоднородность природных и техногенных геохимических ландшафтов по горизонтали во многом обусловливается геологическим строением участков, сложенных горными породами с различным минералого-петрографическим и геохимическим составом. Влияние этого фактора очень хорошо видно на Северо-Западном Кавказе при сравнении распространенности основных типов горных пород (рис. 1.1, см. цв. вклейку) с концентрацией в них фоновых содержаний Mn (рис. 1.2, см. цв. вклейку) и с содержанием этого металла в почвах (рис. 1.3, см. цв. вклейку) и в золе листьев граба (рис. 1.4, см. цв. вклейку). Горизонтальная неоднородность, связанная со сменой горных пород, обычно оказывает большее влияние на природные ландшафты, чем на техногенные.

Вертикальное строение ландшафта обусловливается наличием закономерно сменяющих друг друга ярусов – горизонтов (рис. 1.5), а также геохимической (биогеохимической) работой почвенных организмов. Обычно выделяют ярусы надземной (приземной) атмосферы, надземного растительного покрова, почв и подземных частей растительности, кор выветривания,

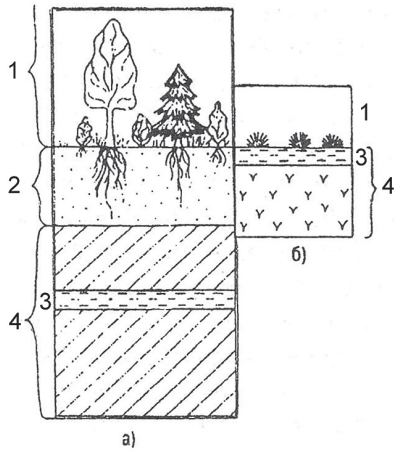


Рис. 1.5. Вертикальный профиль лесного (а) и болотного (б) ландшафтов:
1 – надземная часть ландшафта;
2 – почва;
3 – водоносный горизонт;
4 – кора выветривания, коренные породы

горных пород. При крупномасштабных исследованиях возможно и более дробное деление ландшафта по вертикали.

Каждый ярус, который можно (а часто и нужно) рассматривать как отдельную геохимическую систему, играет определенную роль в биологическом круговороте элементов в ландшафте. Каждая такая система может весьма своеобразно реагировать на происходящие эколого-геохимические изменения, в том числе техногенные.

Различные части одного и того же геохимического ландшафта тесно связаны между собой. Эта ландшафтно-геохимическая особенность приводит к тому, что изменения, первоначально охватывающие только одну часть ландшафта (один ярус), постепенно сказываются во всех его частях (ярусах). Детальный анализ этого явления при различной антропогенной нагрузке и при ее практическом отсутствии в различных климатических зонах, в аквальных ландшафтах и в ландшафтах суши позволил сформулировать следующий закон (Алексеенко В. А., 1993):

Изменения, происшедшие в определенной части (ярусе) геохимического ландшафта, скажутся практически во всех частях этого ландшафта за счет связей между ними.

Отметим, что изменения в каждой части ландшафта практически всегда отличаются своей спецификой. Так, например, изменение щелочно-кислотных свойств подземных вод, а следовательно и содержания в них определенных химических элементов, может вызвать изменение концентраций элементов в почвах, а в ярусе надземной растительности привести не только к биогеохимическим, но и к геоботаническим изменениям, в том числе к смене растительных ассоциаций (Алексеенко, 2011).

Ландшафтно-геохимические исследования последних десятилетий показали, что в пределах наиболее освоенных территорий (а именно там такие исследования и наблюдения за эколого-геохимическими изменениями являются наиболее актуальными) все большие площади из природных ландшафтов переходят в техногенные. В связи с этим при выделении элементарных техногенных ландшафтов, кроме вышерассмотренных критериев, *следует*

учитывать особенности техногенной нагрузки, оказывающей влияние на миграцию и концентрацию химических элементов в ландшафте. Подробнее такие особенности обозначены при классификации геохимических ландшафтов.

В зависимости от цели исследований и их масштаба природные и техногенные элементарные ландшафты можно объединять по каким-либо (обычно основным) признакам. Результатом такого объединения могут стать такие системы, как **геохимические ландшафты.** Считается, что *геохимические ландшафты – это парагенетические ассоциации закономерно сочетающихся элементарных ландшафтов, связанных между собой миграцией элементов.* По А. И. Перельману и Н. С. Касимову (1999), «характерное для каждого геохимического ландшафта закономерное сочетание элементарных ландшафтов называется его **геохимическим сопряжением».**

При изучении эколого-геохимических изменений, происходящих в различных участках биосферы, при поисках месторождений полезных ископаемых и при решении подавляющего большинства других прикладных задач используются данные о геохимических ландшафтах. Таким образом, *на практике мы, как правило, имеем дело с определенными геохимическими ландшафтами,* или с ассоциациями элементарных ландшафтов.

При крупномасштабных работах эти ассоциации рассматриваются как самостоятельные геохимические ландшафты. *При мелко- и среднемасштабных исследованиях в каждую такую ассоциацию может быть объединено очень большое число элементарных ландшафтов.* Таким образом, при мелко- и среднемасштабных исследованиях мы имеем дело уже с объединением подобных не элементарных, а геохимических ландшафтов, связанных особенностями миграции химических элементов.

Между соседними геохимическими ландшафтами (их различными объединениями), так же как и между отдельными ярусами одного и того же ландшафта, существует очень сильная связь. Изменения, происходящие в одном геохимическом ландшафте, вызывают изменения в соседних. Наибольшим, «коренным», изменением ландшафтно-геохимической обстановки может считаться уничтожение одного ландшафта и появление на его месте другого. Изучение эколого-геохимических изменений,

проявляющихся в ландшафтах после того, как соседние ландшафты под воздействием различных факторов исчезли и на их месте возникли новые, привело к открытию следующего закона (Алексеенко, 1993):

Коренные изменения ландшафтно-геохимической обстановки (смена одного ландшафта другим) сказываются в соседних ландшафтах, при отсутствии непосредственного воздействия на них, за счет связей между ландшафтами.

Этот закон справедлив для ландшафтов и суши, и водных. Он остается в силе и для такой пары ландшафтов, как аквальные-супераквальные. Степень изменений в «соседних» ландшафтах может быть довольно различной. Ее предельным случаем следует считать уже вторичную смену «соседнего» геохимического ландшафта другим, без непосредственного воздействия на него первичных факторов. Однако если «коренные» первичные изменения представляют собой быструю (революционную) смену одних ландшафтов другими, то изменения в соседних ландшафтах происходят довольно медленно, эволюционно. Причиной первичных изменений могут быть природные катаклизмы (пожар, селевой поток и т. д.) и интенсивные антропогенные процессы (строительство водохранилищ, распахивание степей и т. д.).

Расстояние, на которое могут распространяться вторичные изменения за счет межландшафтных связей, колеблется в широких пределах, так же как и скорость распространения этих изменений. Например, создание группы новых геохимических ландшафтов, объединенных термином «Цимлянское водохранилище» вызвало ландшафтно-геохимические изменения на расстоянии около 100 км. Продвижение этих изменений происходило 20–25 лет. А вот распахивание предгорных лугов на Северо-Западном Кавказе привело к изменению ландшафтно-геохимической обстановки всего на расстоянии нескольких сотен метров и произошло это менее чем за 10 лет.

Подобных иллюстраций действия этого закона очень много, в каждом из них к числу последствий антропогенной деятельности необходимо также относить изменения хода миграции химических элементов и особенности их биологического круговорота.

К числу наиболее интенсивных (с точки зрения геохимии) коренных изменений относится создание ландшафтов *новых населенных пунктов.* Они оказали огромное влияние на соседние ландшафты, в том числе на соседние пригородные районы и дачные участки. Сейчас около очень многих населенных пунктов происходит столь же интенсивное коренное изменение ландшафтно-геохимической обстановки: создаются водохранилища и отдельные промышленные зоны, распахиваются степи, уничтожаются леса и т. д. В соответствии с законом развития изменений за счет межландшафтных связей, коренные изменения, происходящие около селитебных ландшафтов, оказали и еще окажут влияние на изменение поведения химических элементов в ландшафтах самих населенных пунктов. Как оно будет воздействовать на обстановку в городах совместно с процессами техногенеза пока не ясно, хотя это очень важная проблема. Для ее решения *необходимо изучение поведения элементов в селитебных ландшафтах и, в первую очередь, установление для них кларковых и местных фоновых содержаний.*

1.2.2. Классификация

Подробные классификации геохимических ландшафтов разработаны отдельно для ландшафтов суши и для аквальных ландшафтов. К числу наиболее распространенных относятся классификации А. И. Перельмана, М. А. Глазовской, В. А. Алексеенко. Каждая из них имеет свои преимущества и свои недостатки.

В настоящей работе использована классификация В. А. Алексеенко, основанная на использовании таксономических уровней. Она дает возможность без существенного преобразования заменять отдельные классификационные уровни (убирать одни из них и вводить другие, новые).

С некоторыми местными вариациями эта классификация, основанная на таксономических уровнях, используется при практических работах в разных регионах.

На первом таксономическом уровне, согласно научным разработкам А. И. Перельмана, предложено учитывать основные формы движения материи. В соответствии с этим, при использовании учения о геохимических системах, отдельные ландшафты, относящиеся к данному уровню, в зависимости от преобладания в них основного вида миграции могут быть разделены на три группы: биогенные (биокосные), абиогенные и техногенные. При этом биологические (живые) системы будут являться только частью биогенных и техногенных ландшафтов.

На втором уровне элементарные ландшафты объединяются исходя из особенностей ведущего вида миграции. Соответственно, при этом для биогенных ландшафтов учитываются основные биогенные факторы, влияющие на миграцию элементов, а для техногенных ландшафтов – техногенные.

Среди биогенных ландшафтов при составлении обзорных карт А. И. Перельманом с учетом общей биомассы и ежегодной продукции были выделены такие 5 групп геохимических систем, как ландшафты: лесов, степей (лугов, саванн), пустынь, тундр и верховых болот, примитивных пустынь. При исследованиях в более крупных масштабах предложено (Алексеенко, 1989) детальнее учитывать непосредственный состав растительности.

С учетом особенностей ведущего вида миграции химических элементов отдельные техногенные ландшафты на втором таксономическом уровне целесообразно объединять в сельскохозяйственные, промышленные, лесотехнические, населенных пунктов (селитебные), дорожные, военных ведомств. Как уже указывалось, площади, занимаемые техногенными ландшафтами, непрерывно возрастают во всем мире. От их особенностей (и, в первую очередь, общегеохимических и биогеохимических) и соотношения между отдельными ландшафтами в регионах во многом зависят **безопасность жизнедеятельности** и **устойчивое развитие** отдельных регионов и даже стран.

Все перечисленные выше техногенные ландшафты отличаются друг от друга по следующим основным особенностям техногенной миграции:

1. Количеству и формам нахождения химических элементов в веществах, поступающих техногенным путем в ландшафт и выводимых из ландшафта.

2. Периодичности техногенного поступления и удаления веществ из ландшафта.

3. Кислотно-щелочным и окислительно-восстановительным

условиям в различных ярусах-горизонтах рассматриваемого техногенного ландшафта.

4. Перемещению химических элементов как из рассматриваемого техногенного ландшафта в соседние (техногенные и природные), так и из соседних в рассматриваемый ландшафт.

Обычно в наибольшей мере по геохимическим особенностям отличаются от других ландшафтов **промышленные и селитебные.** Очень часто они расположены рядом. При этом для промышленных ландшафтов, как правило, характерны очень высокие концентрации небольшой группы химических элементов, тогда как селитебные ландшафты (особенно их почвы) отличаются по всем четырем вышеуказанным особенностям техногенной миграции. Это приводит к тому, что в почвах большинства селитебных ландшафтов концентрации приоритетных загрязняющих веществ меньше, чем в промышленных, но число элементов с отличающимися их распространенностью и распределением существенно больше, чем в других техногенных и биогенных ландшафтах.

С увеличением масштабов исследований возникает необходимость большей детальности в принципах объединения отдельных техногенных ландшафтов на втором классификационном уровне (Алексеенко, 2006).

На **третьем классификационном уровне** все ландшафты объединяются в зависимости от особенностей миграции химических элементов в почвах. С учетом этих особенностей А. И. Перельман выделял 21 класс возможного объединения ландшафтов. При этом им были учтены щелочно-кислотные и окислительно-восстановительные условия, типоморфные водные и воздушные мигранты. Рассмотренный принцип учета особенностей миграции химических элементов является общим для биогенных и техногенных геохимических ландшафтов.

Четвертый классификационный уровень предусматривает учет влияния на миграцию химических элементов в природных и техногенных ландшафтах геохимических особенностей подземных вод. Использование этого уровня при классификации ландшафтов проводится сравнительно редко и, как правило, при недавно происшедшем загрязнении вод. (По прошествии определенного времени после такого загрязнения, его последствия, в соответствии с указанным выше законом развития изменений в ландшафте, скажутся и в вышерасположенных ярусах ландшафта. В первую очередь они отразятся на изменении почв и растительных сообществ.) На этом классификационном уровне учитываются те же факторы миграции элементов в водах, что и факторы миграции элементов в почвах, рассмотренные на третьем классификационном уровне.

На **пятом классификационном уровне** биогенные и техногенные ландшафты объединяются с учетом особенностей воздушной (атмосферной) миграции элементов. На этом классификационном уровне целесообразно объединять ландшафты: *1) подверженные воздушной эрозии; 2) не подверженные воздушной эрозии; 3) с современным отложением эолового материала.*

Шестой классификационный уровень используется сравнительно редко, так как факторы миграции элементов, учитываемые на нем, связаны с наличием (или только частичным наличием) многолетней мерзлоты. При практических исследованиях целесообразно рассматривать следующие четыре группы биогенных и техногенных ландшафтов: 1 – с отсутствием многолетней мерзлоты; 2 – с ее островным развитием; 3 – с прерывистым развитием; 4 – с широким площадным распространением многолетней мерзлоты.

На **седьмом классификационном уровне** ландшафты объединяются с учетом геоморфологических особенностей регионов. При проведении мелкомасштабных исследований рекомендуется выделять ландшафты: *1) равнинных областей; 2) низкогорья и среднегорья; 3) высокогорных областей.*

В дальнейшем все выделенные ландшафты целесообразно классифицировать на *элювиальные* (водораздельные), *трансэлювиальные* (верхних частей склонов), *трансаккумулятивные* (нижних частей склонов), *транссупераквальные* (на участках склонов надводных ландшафтов; сюда же следует относить пойменные ландшафты), *супераквальные* (надводные) и *субаквальные* (подводные). Особо рассматриваются водные (аквальные) ландшафты.

Рассмотренные особенности классификации ландшафтов на седьмом классификационном уровне являются общими и для природных, и для техногенных ландшафтов.

Восьмой классификационный уровень введен для учета влияния на геохимические особенности ландшафта почвообразующих (подстилающихся) горных пород и кор выветривания, которые являются постоянными источниками химических элементов, поступающих в ландшафт снизу.

Все ландшафты, выделяемые по кратко изложенной выше методике, отличаются по особенностям процессов миграции-концентрации химических элементов, а также по особенностям их поступления в ландшафт. В одних случаях факторы, учитываемые на каждом классификационном уровне, действуют однонаправленно, и тогда по геохимическим особенностям ландшафты становятся резко отличными один от другого. В первую очередь такое отличие выражается, и соответственно отмечается, в распространенности (содержании) химических элементов в различных частях этой геохимической системы. В других случаях данные факторы воздействуют на процессы миграции-концентрации в различных направлениях, и тогда по содержаниям элементов ландшафты отличаются незначительно один от другого.

И в первом, и во втором случае, при рассмотрении отличия содержаний химических элементов в ландшафтах необходимо сравнение таких содержаний со средними содержаниями этих элементов в земной коре, в рассматриваемых частях ландшафтов, в регионе. Следовательно, необходимо сравнение с кларками и местными фоновыми содержаниями, характеризующими рассматриваемые части ландшафтов. Это особо важно при изучении ландшафтов, особенности которых имеют наибольшее *влияние на безопасность жизнедеятельности людей и на устойчивое развитие регионов, и даже стран.* К ним, в первую очередь, следует относить ***селитебные и сельскохозяйственные ландшафты.***

Необходимо также отметить, что даже в ландшафтах, на первый взгляд существенно не отличающихся один от другого, поведение химических элементов очень часто различно.

1.3. ПОВЕДЕНИЕ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В БИОСФЕРЕ И В СОСТАВЛЯЮЩИХ ЕЕ ОТДЕЛЬНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

1.3.1. Общие сведения

Биосфера представляет собой большую, сложную и очень неоднородную геохимическую систему. В связи с этим поведение в ней геохимических элементов удобнее всего рассматривать на ландшафтно-геохимическом уровне, т. е. определять особенности поведения в отдельных небольших и гораздо более однородных геохимических системах – геохимических ландшафтах, из которых состоит вся биосфера.

Под особенностями геохимического поведения химических элементов (их соединений) в какой-либо геохимической системе мы в первую очередь понимаем характеристику следующих основных показателей:

- содержание (среднее или фоновое) элементов в этой системе в целом или в ее отдельных частях. Часто вместо термина «содержание в системе» употребляется «распространенность в системе»;
- закономерности распределения элементов в рассматриваемой системе. В относительно однородных системах они определяются дисперсией, являющейся мерой рассеяния вокруг среднего содержания.

В крупных и достаточно неоднородных системах закономерность распределения характеризуется абсолютным разбросом (АР).

- Форма (формы) нахождения рассматриваемого элемента в системе.

Часто в биокосных и в биогенных системах используют как отдельный показатель биогеохимические особенности, определяемые массой ядра элементов, составляющих систему.

Исследования, специально проводимые в различных климатических зонах разных континентов, и обобщение результатов многочисленных публикаций позволили установить, что поведение различных элементов в отдельных частях биосферы (а следовательно, и в целом в ней) зависит от конкретных ландшаф-

тно-геохимических факторов миграции и концентрации. Здесь же отметим, что зависимость поведения элементов от ландшафтно-геохимических факторов миграции и концентрации наблюдается в пределах и отдельных небольших ландшафтов, и крупных регионов, представленных группами ландшафтов, объединяемых по какому-то определенному фактору. Все изложенное послужило основанием для формулировки следующего закона (Алексеенко, 1993):

Геохимическое поведение химических элементов (их соединений) в биосфере (содержание, распределение, а часто и форма нахождения в отдельных частях ландшафта) определяется в основном ландшафтно-геохимическими особенностями данного участка биосферы.

1.3.2. Распространенность химических элементов

В любой природной геохимической системе, в соответствии с законом Кларка–Вернадского, есть все химические элементы, известные в природных условиях в земной коре. Однако различные элементы распределены, как правило, крайне неравномерно, и содержание одних существенно выше, чем других. Одни химические элементы (резко преобладающие) составляют основу самой системы, а другие находятся в ней в виде своеобразных примесей (механических, изоморфных и т. д.). Необходимо отметить, что концентрации тех и других элементов в геохимической системе могут колебаться лишь в конкретных, определенных для каждой системы пределах. При выходе за эти пределы система либо полностью разрушается и переходит в другую (другие), либо (при наличии источников энергии, позволяющих увеличить миграционную способность элементов) очищается от избыточных концентраций химических элементов. Однако при этом также происходит образование еще одной новой геохимической системы. Рассмотрим это сначала на конкретном примере литохимической системы.

В каждом типе горных пород концентрация химических элементов определяется их к настоящему времени эмпирически установленным кларковым содержанием. Это касается не только наиболее распространенных элементов (существенное изменение

их концентрации автоматически приводит к изменению типа горных пород), но и элементов, содержание которых в десятки и сотни тысяч раз меньше, чем распространенных.

В определенных и относительно редких условиях, еще при формировании осадков, из которых образуются осадочные горные породы, отдельные элементы могут накапливаться в концентрации, существенно превышающей кларковую (см. далее гл. 3, 4.). В результате среди карбонатных пород встречаются участки с содержанием Pb, Zn, Ag, в десятки и сотни раз превышающим кларк. Собственных минералов большая часть рудных элементов не образует. Следовательно, формируется аномальная геохимическая система, в которой минералы, образуемые из наиболее распространенных химических элементов, соответствуют системе, относимой к карбонатным горным породам (известнякам, а чаще – доломитам), а содержание ряда рудных элементов – не соответствует.

В таких случаях начинает действовать следующее геохимическое правило (Алексеенко, 1974, 1978, 1981):

Крупные литохимические системы являются устойчивыми, если содержания в них химических элементов близки к кларковым содержаниям соответствующих пород.

В рассматриваемом примере образовавшаяся система не только аномальна, но и относительно неустойчива. При энергетическом толчке, увеличивающем миграционную способность элементов, она должна разрушиться. В природе таким толчком нередко является пропитывание горных пород горячими геохимически активными водами. При этом происходит обособление элементов, находящихся в сверхкларковой концентрации. Если такой процесс будет идти в рассматриваемом нами случае, то в большей части карбонатных пород аномальной геохимической системы содержания Pb, Zn, Ag становятся близки к кларку. Соответственно, эта часть системы становится устойчивой. Отделившиеся от нее рудные элементы образуют собственные минералы, обычно обособливающиеся на соответствующих барьерах в виде прожилок и скоплений вкрапленников.

Таким образом, возникает еще одна обособленная геохимическая (а точнее экономико-геологическая) система, называемая рудами. Следует отметить, что по рассмотренной схеме происходит формирование многочисленной группы полигенных и полихронных месторождений рудных полезных ископаемых, получивших название стратифицированных (Алексеенко, 1981).

Подобных примеров для природных, в том числе биокосных, геохимических систем разных уровней очень много. Критические же изменения содержания элементов могут происходить не только в условиях формирования системы (как было показано на предыдущем примере), но и в уже существующей системе. Причем сами изменения могут иметь природный и техногенный характер. Рассмотрим конкретный пример техногенного изменения концентраций элементов, находящихся в нормальных условиях в тысячных долях процента в биокосной системе, вызвавшего переход этой системы в другую.

В результате создания отстойника одного из промышленных предприятий на юге страны в почвы геохимических ландшафтов преимущественно тополевых пойменных лесов стали поступать в резко повышенных концентрациях Pb и Zn. В итоге в почвах рассматриваемой биокосной системы содержание Pb стало доходить до $n \cdot 10^{-2}$ %, а Zn – до 1 %. (По А. Виноградову, среднее содержание в почвах свинца равно $1 \cdot 10^{-3}$ %, а цинка $5 \cdot 10^{-3}$ %). Так как ни природного, ни техногенного очищения от избыточных концентраций этих металлов, называемых часто микроэлементами, в рассматриваемой геохимической системе не происходило, система должна была разрушиться и перейти в другую. Это и произошло с геохимическим ландшафтом пойменного, преимущественно тополевого леса. При таких высоких концентрациях Pb и Zn в почвах тополя стали вымирать (засыхать), а сравнительно редкие дубы стали мелколистными и суховершинными, у них постоянно отмечаются хлороз и недоразвитость молодых побегов. Постепенно (даже с точки зрения жизни человека, а не рассматриваемой биокосной системы) ландшафты тополевых лесов перешли в ландшафты пустырей – мертвых (сухих) деревьев, количество которых стало доходить до 80 %. При этом начал меняться биологический круговорот элементов в ландшафте, и разрушаемая система (геохимический ландшафт пойменных

тополевых лесов) стала в результате техногенного воздействия все дальше уходить от своего исходного состояния.

Таким образом, и в косных, и в биогенных, и в биокосных геохимических системах содержание всех химических элементов является чрезвычайно важным показателем, определяющим каждую из систем. Мы же из этих и других многочисленных примеров можем вывести следующее правило:

Каждая геохимическая система характеризуется довольно строго ограниченными содержаниями всех находящихся в ней химических элементов.

Иногда при геохимических исследованиях, рассматривая содержания элементов, говорят не о характеристике системы, а о характеристике геохимического поведения в ней химических элементов.

Таким образом, **к числу важнейших геохимических показателей, определяющих поведение химических элементов в отдельных системах и характеризующих эти системы, относится распространенность химических элементов. При этом использовать для характеристики систем кларковые и фоновые содержания можно лишь в тех случаях, когда для решения поставленных задач эти системы можно рассматривать как относительно однородные.**

1.3.3. Формы нахождения химических элементов

Для геохимической характеристики системы, и особенно для решения целого ряда прикладных задач, связанных с этой системой, данных только о распространенности в ней элементов недостаточно. Все элементы в любой геохимической системе образуют своеобразные и различные сообщества относительно устойчивых химических равновесий. Продолжительность совместного устойчивого нахождения элементов в таких сообществах в условиях земной коры обычно может изменяться (без резкого изменения состояния самой системы) от часов до миллионов лет. Сами же такие сообщества получили название форм нахождения химических элементов.

Относительно устойчивыми системы считаются потому, что практически все элементы, составляющие земную кору, вовлекаются в большой и малый циклы миграции. При этом ранее существовавшие сочетания элементов разрушаются и возникают новые. Но, как указывалось, многие элементы могут находиться в ряде геохимических систем в относительном химическом равновесии довольно длительное, даже с геологической точки зрения, время.

Отдельные формы нахождения являются более или менее независимыми друг от друга. Сочетание элементов в каждой из них подчиняется различным физико-химическим закономерностям и является возможным только при определенных внешних условиях (внешних факторах миграции).

Вообще, в природе существует довольно много различных форм нахождения химических элементов. В земной коре их несколько меньше. В свое время рядом ученых были предложены свои классификации форм нахождения химических элементов в земной коре. Так, первоначально формы нахождения химических элементов в земной коре были объединены В. И. Вернадским в четыре главнейшие группы:

- горные породы и минералы (к ним были отнесены природные воды и газ);
- живое вещество, или биогенная форма нахождения;
- магматические (существенно силикатные) расплавы;
- состояние рассеяния.

При решении практических задач, связанных с поисками месторождений полезных ископаемых химическими методами, Е. В. Квятковский к объединению химических элементов в отдельные формы и виды их существования подошел с другой стороны (1977). С качественной позиции он выделил минеральную и безминеральную формы, а с количественной – концентрированный и рассеянный виды.

Б. А. Гаврусевич (1968) предложил дополнительно к выделенным В. И. Вернадским обособлять как отдельные формы нахождения изоморфные примеси, водные растворы и газовые смеси. По мере развития геохимии, а особенно под влиянием проблем, разрешаемых в той ее части, которая считается прикладной, потребовалось рассматривать самостоятельно еще больше форм

нахождения элементов в земной коре. Кроме форм, предложенных Гаврусевичем, были выделены коллоидная и сорбированная, а также форма нахождения в виде техногенных соединений, не имеющих природных аналогов (Алексеенко, 1989).

При увеличении детальности геохимических исследований может происходить дальнейшее разделение перечисленных форм нахождения элементов. Так, например, при крупномасштабных исследованиях почв (а почвы можно рассматривать как самостоятельную геохимическую систему), в минеральной форме нахождения иногда отдельно выделяют соединения водорастворимые, кислоторастворимые и т. д. Такое разделение может быть связано не только с детальностью, но и со спецификой исследований. Часто оно дает новые, чрезвычайно важные данные для характеристики системы или каких-либо изменений, происходящих в ней. Так, растворимые в воде минералы почв являются наиболее подвижными в этой системе. При высоком содержании в почвах они часто становятся важнейшими в этой системе, так как начинают определять щелочно-кислотные и окислительно-восстановительные условия миграции. Как уже указывалось, химические элементы, составляющие такие хорошо растворимые минералы и находящиеся в резко повышенной концентрации, получили название *типоморфных элементов* (Перельман, 1975).

В определенных условиях в биокосных системах формы нахождения химических элементов, которым в общей геохимии часто не уделяется соответствующего внимания, могут стать решающими для развития конкретных систем и для установления оптимальных для организмов концентраций химических элементов. Рассмотрим это на ряде показательных примеров.

Содержание в атмосферном воздухе азота составляет свыше 78 %, а в земной коре – меньше $2 \cdot 10^{-3}$ %. Растения буквально купаются в азоте, но он находится в газообразной, практически недоступной этим организмам форме. В почве его (по данным А. П. Виноградова) несколько больше, чем в земной коре в целом – $1 \cdot 10^{-1}$ %, но в этой геохимической системе его значительную часть составляют растворимые, а следовательно, и более доступные для растений минералы (соли). При уменьшении концентраций азота, находящегося в почвах в форме растворимых солей, растения хуже развиваются, хотя

находятся в практически азотной атмосфере. При внесении в почву азотных удобрений (элемент находится в форме растворимых минералов) возобновляется нормальное развитие растений, обеспеченных достаточным содержанием элемента в хорошо доступной организмам форме.

Необходимо особо отметить, что изменение формы нахождения и содержания в одной части биокосной системы определенного элемента, в минеральной форме (растворимая соль), может привести к изменению в другой части этой системы (в растениях) концентраций и этого, и других элементов. При этом изменения концентраций происходят не в минеральной, а в биогенной форме. Это, в свою очередь, может способствовать улучшению или ухудшению условий существования самих растений.

Так, в результате выветривания руд, в почвах над полиметаллическим месторождением увеличилась концентрация Pb, находящегося в форме растворимых солей. Содержание металла дошло до $n \cdot 10^{-2}$ %, при кларковом $1 \cdot 10^{-3}$ % (см. гл. 3, 4). Эти, относительно небольшие в абсолютном отношении изменения концентрации свинца, находящегося в почве в форме довольно хорошо растворимых солей, сказались на развитии растений, произрастающих на этих почвах, а также на содержании в самих растениях Pb и Mo. При этом содержание свинца, находящегося в растениях в биогенной форме, увеличилось в среднем в 2 раза, а содержание Mo уменьшилось в золе растений в 20–100 раз. В результате над полиметаллическим месторождением образовалась отрицательная биогеохимическая аномалия Mo. Она оказалась даже более контрастной, чем положительная биогеохимическая аномалия Pb.

Таким образом, **форма нахождения химических элементов является второй важнейшей характеристикой поведения элементов и вторым важным показателем геохимического состояния рассматриваемых систем, особенно биокосных.**

1.3.4. Биогеохимические особенности систем

Если интересующие нас геохимические системы входят в состав биосферы и являются биокосными, то при оценке таких систем и поведения в них отдельных химических элементов довольно часто учитывается влияние различных концентраций

этих элементов на живые организмы. Для такой оценки часто предварительно используется так называемая линия жизни (иногда ее называют линией питательных веществ). Она представляет собой ломаную линию, соединяющую в таблице Д. И. Менделеева углерод с калием и железом (рис. 1.6). Химические элементы, пересекаемые этой линией в таблице, или расположенные вблизи от нее, необходимы для нормального развития организмов в гораздо больших количествах, чем элементы, расположенные в удалении от этой линии и особенно ниже ее.

Анализ многочисленных данных показывает (Алексеенко, 2000, 2005, 2006), что если в среде, окружающей (питающей) организмы, содержание химических элементов, расположенных вблизи линии жизни, будет повышено, то это менее опасно для организмов, чем определенный недостаток этих элементов. Повышенное содержание в среде обитания организмов элементов, расположенных в удалении от «линии жизни», более опасно для этих организмов, чем пониженные концентрации указанных химических элементов.

Таким образом, можно считать, что величины оптимальных для организмов концентраций химических элементов в среде обитания этих организмов зависят от положения элементов в таблице Д. И. Менделеева. Рассмотрение этой закономерности позволяет сделать следующий вывод: **геохимические, а конкретнее – биогеохимические, особенности геохимических систем во многом определяются строением (массой) ядра элементов, составляющих эти системы. При этом для нормального развития биокосных систем распространенность каждого из составляющих ее элементов должна соответствовать определенному положению элемента в таблице Д. И. Менделеева, а, следовательно, и строению атома.**

1.3.5. Разброс химических элементов

Довольно часто при изучении геохимических систем мы допускаем (конечно же, условно), что они являются однородными. Так, в частности, мы поступаем, когда определяем в геохимических системах среднее содержание химических элементов.

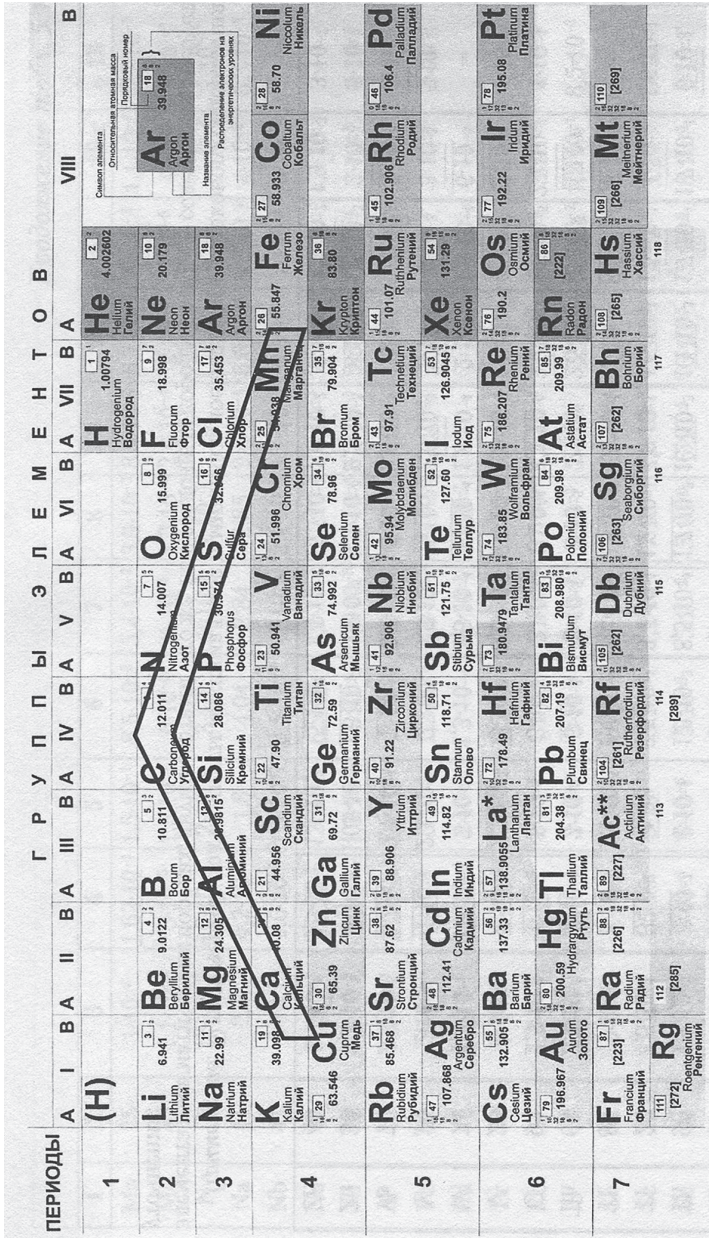


Рис. 1.6. Линия питательных веществ

Однако даже *в тех случаях, когда цели исследований и их масштаб позволяли сделать такие допущения*, в распределении химических элементов явно ощущалась неравномерность их распределения в системах. В таких случаях для характеристики «условно однородных» геохимических систем определяются такие показатели, как выборочная дисперсия (S^2) и среднеквадратичное отклонение (S), представляющее собой корень квадратный из величины дисперсии. Оба этих показателя являются

мерой рассеивания содержания элемента в выборке вокруг средней величины содержания. Величину дисперсии определяют при нормальном законе распределения по формуле:

$$S^2 = \frac{1}{N-1}\sum\left(X_I - \bar{X}\right)^2,$$

а при логнормальном законе распределения по формуле:

$$S^2{}_{\lg} = \frac{1}{N-1}\sum(\lg X_i - \lg \bar{X})^2.$$

где S^2 – дисперсия; N – число проб; X_i – содержание элемента в конкретной пробе; $\bar{X}$ – среднее содержание элемента в системе.

Для характеристики относительного рассеивания содержаний в системах, условно принимаемых как однородные, широко используется коэффициент вариации (V), который показывает, насколько велико рассеивание по сравнению со средним значением, выражается он в процентах, а вычисляется при нормальном законе по формуле:

$$V = \frac{S}{\bar{X}} \cdot 100\ \%$$

При логарифмическом нормальном законе коэффициент вариации рекомендуется определять по таблицам, исходя из величины среднеквадратического отклонения логарифмов содержания ($S_{\lg}$) (Беус, 1976).

Однако *в очень большом числе случаев часто независимо от масштаба исследований геохимические системы, даже условно, нельзя принимать за однородные*. При таких исследованиях для корректной характеристики геохимических систем вышепе-

речисленных показателей бывает недостаточно. В связи с этим В. А. Алексеенко был предложен в 1997 г. новый геохимический показатель – **разброс химических элементов.** При этом выделяются абсолютный и относительный разбросы.

Абсолютный разброс (АР) как показатель в общем смысле представляет собой отношение максимального фонового содержания определенного компонента (в геохимии – химического элемента) в одной составной части геохимической системы к минимальному фоновому содержанию этого же компонента (элемента) в другой составной части этой же системы. При рассмотрении такой глобальной неоднородной геохимической системы, как верхняя часть литосферы, вместо фонового содержания следует брать кларковое содержание химических элементов в различных типах горных пород, составляющих эту систему.

На протяжении значительной части истории развития Земли (после ее вертикального расслоения) распространенность химических элементов (их среднее содержание) в верхних частях литосферы можно считать практически неизменяющейся. Об этом можно судить, сравнивая кларки, характеризующие земную кору в целом (Ф. Кларк и Г. Вашингтон, А. Е. Ферсман, А. П. Виноградов, С. Р. Тейлор и др.) с кларками литосферы без осадочных пород, по А. А. Беусу.

Объясняется такое длительное постоянство значений кларков двумя основными причинами. Во-первых, образование осадочных пород происходило за счет пород, относимых к магматическим, так как именно из них состояла поверхность Земли на ранних стадиях развития. Следовательно, общая масса вещества в верхних частях литосферы и соотношения между составляющими ее химическими элементами оставались после вертикальной дифференциации Земли до настоящего времени без изменений.

Во-вторых, при расчете кларков земной коры определялось процентное содержание массы каждого из элементов по отношению к массе всей земной коры, а не ее отдельных частей, образовавшихся в процессе формирования осадочных пород и горизонтальной дифференциации вещества на поверхности Земли, связанной с этим процессом.

Особо следует отметить, что даже формирование атмосферы и гидросферы не оказало большого влияния на изменение кларкового значения химических элементов. Отклонения в значениях кларков литосферы без осадочного чехла от кларков земной коры практически не превышают погрешностей, которые образуются при расчете кларков земной коры разными исследователями.

Однако распределение элементов (их разброс) в литосфере изменилось за это время весьма существенно.

Показатель относительного разброса. Если нас интересует изменение разброса конкретных элементов в результате какого-либо процесса, то определяется **величина относительного разброса (ОР).** Она *представляет собой отношение величины абсолютного разброса интересующего нас элемента в системе после рассматриваемого процесса к величине абсолютного разброса этого же элемента в той же системе до начала процесса.*

Подробно кларки, местные фоновые содержания и разброс химических элементов рассматриваются в главах 3 и 4. Сейчас же отметим, что величины абсолютных разбросов химических элементов в планетарных системах четко связаны со строением электронных оболочек атомов этих элементов. Кроме того, существует довольно четко выраженная связь между значениями величин абсолютного разброса и содержанием химических элементов в сухом веществе бактерий, в сухом веществе наземных животных и наземных растений.

Таким образом, **абсолютный разброс элементов может считаться четвертым важнейшим геохимическим показателем состояния геохимических систем; особое значение он имеет при характеристике биокосных систем.**

ГЛАВА 2

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ГЕОХИМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СЕЛИТЕБНЫХ ЛАНДШАФТАХ

2.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О СЕЛИТЕБНЫХ ЛАНДШАФТАХ

Селитебные ландшафты (ландшафты населенных пунктов) занимают сравнительно небольшую территорию – менее 5 % земельного фонда. Точно занимаемая ими площадь не подсчитывалась, так как обычно совместно с ними учитываются промышленные и дорожные ландшафты. В целом на такое объединение геохимических ландшафтов, по данным В. А. Николаева (2004), приходится всего около 6 % суши Земли. Однако на этой площади находится большую часть своей жизни практически всё население планеты. Эколого-геохимическими особенностями селитебных ландшафтов во многом определяется безопасность жизнедеятельности людей. Поэтому ландшафтам населенных пунктов, а точнее их эколого-геохимическим особенностям, в последнее время многие исследователи уделяют все больше внимания. Так, был подготовлен ряд монографий и учебных пособий, в которых с различных точек зрения рассматриваются эколого-геохимические проблемы селитебных ландшафтов.

2.2. КЛАССИФИКАЦИЯ СЕЛИТЕБНЫХ ЛАНДШАФТОВ

В главе 1 рассматривались основные принципы выделения селитебных ландшафтов при мелкомасштабных эколого-геохимических исследованиях. Однако особенности геохимических процессов (и, в первую очередь, техногенных), протекающих в населенных пунктах, уже априори позволяют считать, что с увеличением масштаба исследований необходима более подробная классификация этих ландшафтов. В настоящее время существуют их различные варианты, во многом схожие, хотя каждый из них имеет свои «плюсы» и «минусы» и может использоваться в зависимости от цели и масштаба исследований. Наибольшее

распространение получили систематики, разработанные А. И. Перельманом и Н. Ф. Мырляном (1984), В. А. Алексеенко (1989, 1990, 2006), А. И. Перельманом и Н. С. Касимовым (1999). В классификациях А. И. Перельмана и Н. С. Касимова и А. И. Перельмана и Н. Ф. Мырляна содержится до 10 таксономических единиц: ряды, порядки, отряды, разряды, группы, типы, семейства, кланы, роды и виды. Высшие 4 устанавливаются по негеохимическим параметрам, а 6 низших таксонов по тем же признакам, что и в систематике природных ландшафтов.

Классификация В. А. Алексеенко, которая используется в данной работе, базируется на трех основных таксономических уровнях (рис. 2.1). На первом и втором – ландшафты обособливаются в зависимости от числа жителей в населенном пункте, а для небольших населенных пунктов учитывается также профиль преобладающего предприятия. На третьем уровне учитываются климатические особенности, влияние которых в отдельных случаях может существенно изменить процессы миграции-концентрации элементов в населенном пункте. На практике третий уровень часто становится ненужным.



Рис. 2.1. Схема объединения ландшафтов населенных пунктов на втором классификационном уровне

К обособляемым, в соответствии с приведенной схемой, ***ландшафтам промышленных центров государственного значения*** относятся города **с населением около 1 млн жителей (700 тыс. и более).** Подсчеты показывают, что только в процессе обычной жизнедеятельности жители города с миллионным населением ежесуточно выделяют в атмосферу около 0,5 млн м^3 углекислого газа и 1200 м^3 водяного пара и секрета потовых желез. Завоз продуктов питания и различных промышленных товаров в такие крупные городах примерно одинаков и зависит больше от числа жителей, чем от природных особенностей зоны, в которой расположен город. Все более приближаются в крупных городах к типовым (стандартным) системы очистки городских отходов. Таким образом, техногенная миграция элементов, связанная непосредственно с жизнеобеспечением жителей в крупных городах, имеет гораздо больше общего, чем специфических отличий.

Промышленность городов с населением около 1 млн жителей отличается разнообразием, но практически всегда включает в себя предприятия пищевой, химической, легкой промышленности, а также предприятия, связанные с обработкой металлов, строительные организации. Приведенные данные позволяют ориентировочно считать, что в таких городах состав и количество элементов, попадающих как загрязняющие в городской ландшафт в результате производственной деятельности, примерно одинаковы при пересчете на одного жителя. Следовательно, объединение городов с населением около 1 млн жителей в отдельный тип ландшафтов имеет и определенное геохимическое обоснование.

Ландшафты населенных пунктов регионального значения составляют города **с населением около 300–700 тыс. жителей.** В этих городах развитие определенных предприятий может оказывать решающее влияние на собственно техногенное поступление соответствующего комплекса элементов, в связи с чем дальнейшее разделение населенных пунктов регионального значения целесообразно проводить с *учетом преобладающего профиля основных предприятий*. Например, отдельно следует выделять города, где в основном распространены нефтеперерабатывающие или цементные предприятия.

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

В данном исследовании нами в отдельную группу выделены так называемые **«малые города» с населением менее 100 тыс. жителей.** В нашей стране, да и во всем мире, эти населенные пункты весьма распространены, а следовательно, в них проживает в сумме довольно большое число 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 этих «малых городах». Данное обстоятельство и заставило нас выделить их (города) в отдельную группу и отдельно рассмотреть геохимические особенности их почв.

В отдельные группы объединены ландшафты небольших ***населенных пунктов, существующие у рудников, шахт, обогатительных фабрик.*** В их пределах миграция и концентрация химических элементов определяется в значительно большей мере профилем предприятий, чем числом жителей. Сырье, добываемое и перерабатываемое на этих предприятиях, является основным постоянным источником химических элементов, поступающих как в рассматриваемые, так и в соседние ландшафты. При необходимости подразделения данных ландшафтов следует учитывать добываемое (перерабатываемое) сырье. Так, отдельно выделяются ландшафты населенных пунктов у редкометалльных рудников, у обогатительных фабрик, перерабатывающих полиметаллические руды, и др.

Особо должны рассматриваться ***ландшафты населенных пунктов, относимых к рекреационно-туристическим.*** В их пределах техногенная миграция определяется главным образом процессами, обеспечивающими нормальную жизнедеятельность сравнительно ограниченного числа постоянных и довольно большого числа приезжих жителей, и особенностями развития транс-

порта. Важной характеристикой этих ландшафтов часто является относительно большая роль в миграции основных элементов биологического круговорота.

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

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, особенно в зимнее время года, в ландшафты Каира и Иркутска, 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.

2.3. КЛАССИФИКАЦИЯ ЛАНДШАФТОВ, СОСТАВЛЯЮЩИХ В СУММЕ ЕДИННЫЙ СЕЛИТЕБНЫЙ ЛАНДШАФТ

При проведении многих исследований, особенно крупномасштабных и детальных, очень часто требуется в пределах одного населенного пункта выделить отдельные участки, отличающиеся друг от друга по особенностям поступления в их пределы химических элементов (их различных соединений), условиям техногенной миграции и концентрации веществ, особенностям

биогенной миграции и т. д. Эти участки можно рассматривать как отдельные, обычно сравнительно небольшие геохимические ландшафты, составляющие в сумме единый селитебный ландшафт.

Схема классификации отдельных геохимических ландшафтов, составляющих единый селитебный ландшафт, приведена в табл. 2.1. Она также построена на использовании принципа таксономических уровней. К ней можно сделать следующие пояснения.

При выделении ландшафтов учитываются основные особенности внешних факторов миграции и концентрации химических элементов (их соединений). Помимо этого, особое внимание удаляется важнейшим природным и техногенным источникам поступления элементов в рассматриваемый ландшафт. В соответствии с этим, на каждом таксономическом уровне учитываются важнейшие для него признаки объединения геохимических ландшафтов. Так, на *первом уровне* отдельные селитебные ландшафты объединяются по особенностям ведущего в их пределах техногенного вида миграции. По этому признаку чаще всего выделяются семь объединений городских ландшафтов: предприятий, жилых зон, улиц, зон военных ведомств, рекреации и отдыха, пустырей, кладбищ (табл. 2.1).

К ***ландшафтам предприятий*** относятся в данном случае территории, расположенные в пределах населенных пунктов и занятые различными промышленными предприятиями (фабрики, заводы и их отдельные цеха, мастерские, автомобильные, троллейбусные и трамвайные парки, электростанции и т. п.), карьерами и шахтами. К этим же ландшафтам относятся территории, занятые постройками, необходимыми для эксплуатации перечисленных предприятий.

При крупномасштабных исследованиях, проводимых на территории населенных пунктов, а также при эколого-геохимической паспортизации, иногда требуется более дробное деление ландшафтов предприятий. Основой деления и в этих случаях продолжают оставаться особенности техногенной миграции и концентрации химических элементов.

В первую очередь целесообразно отдельно выделять ландшафты карьеров, шахт и рудников с подземной добычей, отвалов

Таблица 2.1

Схема классификации селитебных геохимических ландшафтов (по В. А. Алексеенко)

Table 2.1

The classification scheme of urban geochemical landscapes (after V. A. Alekseenko)

Классификационные уровни	Ведущие признаки объединения геохимических ландшафтов на данном уровне	Ландшафты, объединяемые на каждом уровне			
1	2	3			
I	Особенности ведущего вида миграции	1. Предприятий. 2. Жилых зон. 3. Улиц. 4. Зон военных ведомств. 5. Зон рекреации и отдыха. 6. Пустырей. 7. Кладбищ			
II	Особенности сообществ растений и их сохранности	1. С сельскохозяйственными. 2. С декоративными растениями культурами (однолетними и (их разными сочетаниями) многолетними)			
III	Геохимические особенности почв	1. С окислительной обстановкой (свободный кислород) 2. С восстановительной глеевой обстановкой (без свободных O_2 и H_2S) 3. С сероводородной обстановкой	1. С почвами сильнокислыми (pH < 3) 2. С почвами кислыми и слабокислыми (pH 3...6,5) 3. С почвами нейтральными (pH 6,5...7,5) 4. С почвами слабо-щелочными (pH 7,5...8,5)	С различным набором типоморфных водных мигрантов	С различным содержанием органичеких соединений
IV	Геоморфологические особенности	1. Элювиальные. 2. Трансэлювиальные. 3. Трансаккумулятивные. 4. Аккумулятивные. 5. Транссупераквальные			
V	Минералого-геохимические особенности почвоподстилающих горных пород	1. Осадочные 2. Магматические 3. Интенсивно метаморфизованные			

горных выработок, различных фабрик и заводов, электростанций, гаражей, трамвайных и троллейбусных парков, автозаправочных станций, предприятий по переработке мусора, базаров, а также ландшафты авто- и железнодорожных вокзалов и станций, аэро-, речных и морских портов. Все они отличаются друг от друга по составу, форме нахождения и количеству загрязняющих веществ, как находящихся в их пределах, так и выносимых в соседние ландшафты населенного пункта.

Ландшафты жилых зон, как правило, занимают основную часть населенных пунктов. Кроме того, значительная часть жителей проводит в них большую часть своей жизни. Поэтому оценка эколого-геохимической обстановки таких зон и ее улучшение относятся к числу важнейших экологических проблем.

Довольно часто в ландшафтах жилых зон существенную роль играет биологический круговорот элементов. Особенно это касается небольших населенных пунктов с одноэтажными домами и приусадебными участками. Однако БИК в жилых зонах городов существенно отличается от круговорота в соседних городских ландшафтах.

От этажности домов в жилых зонах прямо и косвенно во многом зависят особенности поступления, перемещения, накопления и выноса очень многих химических элементов (соединений), а также направление, скорость и соотношение в воздушном потоке турбулентного и ламинарного перемещений. При прочих равных условиях последние показатели становятся определяющими для содержания в воздухе, а следовательно, и попадания из него в почвы, растительные и животные организмы (включая человека) многих, в том числе токсичных, веществ.

Очевидно, что от этажности зависит плотность населения в жилой зоне, а с ней связаны количество и способы утилизации различных отходов и продуктов жизнедеятельности. Этажностью во многом определяются водоснабжение и отопление, которые, в свою очередь, контролируют привнос и вынос не только элементов в форме растворов и газовых смесей, но и элементов, находящихся в других формах. От этого показателя также во многом зависят видовое разнообразие и количество домашних животных, следовательно, и особенности поступления, а часто и формы нахождения химических элементов в ландшафтах жилых зон.

Этажность жилых зон сказывается и на степени комфорта проживающих в них жителей, а также на скорости и уровне распространения различных инфекций и даже специфических болезней (часто психических расстройств). Эти особенности во многом определяют экологическое состояние многих районов.

Таким образом, сочетание в ландшафтах жилых зон зданий различной этажности может считаться для них основным эколого-геохимическим показателем. В соответствии с этим показателем следует разделять рассматриваемые ландшафты при детальных и специальных исследованиях. Необходимо отметить, что в последние годы во многих городах застройка ведётся по принципу создания микрорайонов со специфическим сочетанием и взаиморасположенностью зданий разной этажности. Такие участки при детализации целесообразно рассматривать как отдельные ландшафты. Их эколого-геохимические особенности при проектировании новых районов необходимо учитывать.

Ландшафты улиц наиболее близки по геохимическим особенностям к дорожным ландшафтам, выделяемым за пределами населенных пунктов, и также не имеют природных аналогов. К ним относятся проезжие части дорог и тротуаров (часто с посадками различных растений) до жилых зданий, промпредприятий или заборов, отгораживающих приусадебные участки, или другие ландшафты населенного пункта. Несмотря на обычные насаждения вдоль тротуаров, БИК в рассматриваемых ландшафтах обычно практически отсутствует, так как весь опад и сухие ветви деревьев и кустарников, как правило, вывозятся за пределы населенного пункта или сжигаются, а зола чаще всего рассеивается, не концентрируясь в ландшафтах улиц. В биологический круговорот вовлекаются в основном корни растений. При специальных и детальных работах ландшафты улиц целесообразно разделять с учетом интенсивности движения, преобладающего вида транспорта и особенностей дорожного покрытия.

Ландшафты зон рекреации и отдыха располагаются как в центре, так и на окраинах населенных пунктов. К ним относятся парки, стадионы, скверы и спортивные площадки, парковые аллеи, зоны отдыха по берегам рек, водохранилищ, морей и т. д. Для части из них (парки, скверы и т. п.) характерен

БИК, и они близки к выделяемым за пределами населенных пунктов лесотехническим ландшафтам.

Ландшафты зон, занятых военными ведомствами, к настоящему времени относятся к числу наименее изученных. О вызываемом специфическом загрязнении окружающей среды и необходимости их эколого-геохимического изучения заговорили только в последнее время, в связи с выводом войск из стран Восточной Европы.

Кроме собственного эколого-геохимического загрязнения, антропогенная деятельность в пределах этих ландшафтов *может вызывать радиационное, электромагнитное, шумовое, тепловое и другие виды экологического загрязнения*. Поэтому такие ландшафты необходимо выделять даже при незначительных размерах и невозможности изучения. Их классификация при крупномасштабных и детальных исследованиях не разработана.

Ландшафты пустырей получили развитие во многих населенных пунктах. Их появление обычно связано или со сносом старых зданий, или с реконструкцией городов, или с неравномерной застройкой отдельных районов, при которой остаются, обычно на непродолжительное время, пустые площади. В первом случае ландшафты (особенно в старых городах) могут отличаться большим геохимическим разнообразием. Однако, как правило, основное эколого-геохимическое воздействие на соседние городские ландшафты оказывают не они, а свозимый с них строительный мусор.

Довольно часто сами пустыри становятся зонами временного складирования самого различного мусора – от бытового до строительного. В этом случае им следует уделять большое внимание, изучая их как своеобразные социальные геохимические барьеры.

Ландшафты кладбищ несколько условно можно разделить на старые и действующие. Старые кладбища обычно расположены ближе к центру населенных пунктов и по своим эколого-геохимическим особенностям близки к ландшафтам зон рекреации. При проектировании новых кладбищ в первую очередь следует обращать внимание на поверхностный и подземный сток вод от них. Он не должен происходить в сторону существующих или проектируемых городских ландшафтов.

Среди городских ландшафтов практически всех населенных пунктов встречаются *различные образовательные заведения, детские сады, больницы, бани.* Оценивая общую экологическую обстановку в населенных пунктах, необходимо уделять особое внимание как их числу, так и равномерности распределения. На картах геохимических ландшафтов населенных пунктов все эти учреждения должны обозначаться внемасштабными знаками.

На *втором таксономическом уровне*, несмотря на практическое отсутствие БИКа в населенных пунктах, объединение городских ландшафтов целесообразно осуществлять по особенностям сообществ растений и их сохранности. Это связано с тем, что растения чутко реагируют на различные экологические изменения, происходящие в населенных пунктах. Кроме того, в ряде населенных пунктов, особенно с небольшим числом жителей, часть сельхозпродуктов выращивается на приусадебных участках. Обычно на этом уровне можно обособлять **ландшафты с сельскохозяйственными культурами** (однолетними и многолетними) и **с различными сочетаниями декоративных растений.** Так как основной целью авторов данной работы является рассмотрение геохимических особенностей почв населенных пунктов, отметим несомненную связь сочетания ассоциаций городских растений и их сохранности с содержанием в почвах различных химических элементов. А сами особенности почв рассматриваются на третьем таксономическом уровне.

При объединении ландшафтов *на третьем уровне* учитываются **окислительно-восстановительная обстановка, щелочно-кислотные условия, набор типоморфных элементов и содержание органических соединений.** От изменения этих показателей зависит содержание в почвах практически всех химических элементов.

На *четвертом классификационном уровне* ландшафты объединяет **общность геоморфологических условий**, определяющих, в первую очередь, особенности механической миграции и концентрации веществ.

В основу классификации *на пятом уровне* взяты минералого-геохимические особенности почвоподстилающих (почвообразующих) горных пород. Хотя их влияние на формирование геохимического облика почв в населенных пунктах весьма ослаблено,

они остаются и в этих условиях постоянным источником химических элементов, поступающих в ландшафт снизу. Следует отметить, что часто наибольшее влияние на содержание химических элементов в почвах горные породы оказывают в тектонически ослабленных зонах.

Все пять вышерассмотренных уровней отражают геохимическое разнообразие различных частей единого селитебного ландшафта и во многом определяют разброс химических элементов в его почвах.

2.4. ОСОБЕННОСТИ АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ СЕЛИТЕБНЫХ ЛАНДШАФТОВ

Последствия антропогенной деятельности, часто вызывающие так называемое техногенное загрязнение, в ландшафтах населенных пунктов имеют свои весьма существенные особенности.

Во-первых, идет загрязнение атмосферного воздуха. Химический состав газов в населенных пунктах отличается от состава за пределами селитебного ландшафта, кроме того, в воздухе над населенными пунктами может резко увеличиваться количество коллоидных частиц и мелких обломков различных веществ, часто не имеющих природных аналогов. Эти изменения, как уже упоминалось, определяются числом жителей, спецификой техногенного производства и климатическими особенностями.

Во-вторых, состав и все геохимические особенности грунтовых вод и почвенных растворов могут существенно отличаться от аналогичных особенностей вод, характерных для региона.

В-третьих, два рассмотренных выше вида загрязнения сказываются на всех геохимических особенностях почв, в которых происходит накопление загрязняющих веществ. В свою очередь, такие почвы со временем могут сами стать источниками загрязняющих веществ для атмосферы, вод и городской растительности.

В-четвертых, в населенных пунктах происходит весьма своеобразное загрязнение – электромагнитное, тепловое, звуковое (шумовое), радиоактивное. Все виды этого загрязнения могут дополнительно влиять на происходящие в населенных пунктах процессы миграции-концентрации веществ и, в первую очередь,

на биогеохимические процессы. Кроме того, селитебные ландшафты отличаются гидрологическим и световым режимами.

В-пятых, все рассмотренные виды загрязнения влияют на накопление городской растительностью химических элементов, т. е. на биогеохимические и геоботанические особенности растений.

В-шестых, перечисленные особенности антропогенного загрязнения селитебных ландшафтов развиваются неравномерно в различных частях населенных пунктов, особенно крупных. Это позволяет говорить о мозаичном развитии загрязнения селитебных ландшафтов.

В-седьмых, основной депонирующей геохимической системой, входящей в качестве составной части в селитебный ландшафт, являются почвы. В них сохраняются вещества, выпадающие из атмосферного воздуха, поступающие из вод и опада растений и, конечно же, различные соединения химических элементов, попадающие в результате антропогенной деятельности непосредственно в сами почвы. Постепенно многие соединения разлагаются в почвах с образованием новых, но происходит это довольно долго. Так, по данным И. К. Неждановой увеличение в почвах Ленинграда (Санкт-Петербурга) Pb и Zn связано с наличием обломков кирпичей, а Ni – с присутствием шлаков, еще со времени основания города.

2.5. ЭКОЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ СЕЛИТЕБНЫХ ЛАНДШАФТОВ

Аномалия – греческое слово, означающее отклонение от нормы. *Геохимическая аномалия* – это отклонение от геохимических норм, свойственных или определенному району, или геохимическому ландшафту, или определенному виду горных пород, растений, вод и т. д. Геохимической аномалией считается, например, значительно повышенное (или пониженное) по сравнению с фоном содержание элементов. Сами элементы при этом могут находиться в минеральной, биогенной или изоморфной формах, а также в виде растворов и газовых смесей. К геохимической аномалии относится и резкое отклонение от нормы соотношения двух элементов или изотопов одного и того же элемента.

Месторождения и расположенные около них ореолы также являются геохимическими аномалиями.

Экологическая аномалия представляет собой отклонение от нормального развития определенных животных или растительных организмов или их групп, характерных для данного региона. Экологической аномалией является появление определенных организмов (их групп), не типичных для данного региона. Соответственно, такой же аномалией будет считаться и исчезновение на отдельных участках конкретных организмов, характерных для рассматриваемого региона.

Из сказанного выше вытекает, что *эколого-геохимической аномалией можно считать экологическую аномалию (еще только возникающую или уже достаточно давно существующую), формирующуюся под воздействием факторов, вызванных образованием геохимической аномалии.* (Алексеенко, 2006).

Геохимические, экологические и эколого-геохимические аномалии могут быть *природными и техногенными.* Первые формируются под воздействием природных факторов. Их примером могут служить как сами месторождения природных ископаемых, так и связанные с ними первичные и вторичные геохимические ореолы. Если же образование аномалий происходит под воздействием антропогенной деятельности, то их относят к техногенным. Иногда встречаются аномалии, образующиеся под одновременным воздействием природных и антропогенных факторов. Их можно считать *природно-техногенными.*

Рассмотренные выше в этой главе ландшафтно-геохимические особенности селитебных ландшафтов приводят к увеличению концентраций большого ряда химических элементов в атмосферном воздухе, почвах, водах и растениях, т. е. к образованию атмохимических, гидрогеохимических и гидрохимических, литохимических (почвенных) и биогеохимических аномалий. Происхождение этих аномалий обычно вызывается целым рядом весьма различных антропогенных факторов, а поэтому такие аномалии, формирующиеся в селитебных ландшафтах, следует считать не только **техногенными**, но и **полигенными.**

Довольно редко в населенных пунктах встречаются аномалии (обычно литохимические), формирование которых связано не только с антропогенной деятельностью, но и с влиянием при-

родных геохимических аномалий. Примером может служить полиметаллическое месторождение Наван в Ирландии, открытое на индустриальной окраине города (Соловов, Досанова, 1982). В подобных случаях можно говорить о природно-техногенных аномалиях.

Еще одной особенностью аномалий селитебных ландшафтов является наложение аномалий, образованных различными химическими элементами, друг на друга. Таким образом, эти аномалии можно рассматривать и как **поликомпонентные**. Их (аномалий) поликомпонентность является особой и во многом отличается от поликомпонентности природных аномалий. Во-первых, аномалия (а точнее, группа аномалий) представлена поллютантами, находящимися в различных формах. Это и минеральная форма (преобладает в почвах), и коллоиды с сорбированными ими веществами (атмосфера, атмосферные осадки и почвы), и водные растворы (подземные и поверхностные воды, почвенные растворы), и изоморфные примеси в минералах, и биогенная форма. Во-вторых, сами поллютанты обычно представлены многочисленными и самыми разнообразными химическими элементами (их соединениями), часто не имеющими общих кристаллохимических свойств.

К особенностям рассматриваемых аномалий следует отнести и крайнюю неравномерность распространенности поллютантов.

Атмосферные (атмохимические) аномалии селитебных ландшафтов отличаются высоким содержанием аэрозолей и изменением соотношения между различными газами, составляющими в сумме городскую атмосферу. О загрязнении атмосферы северных городов можно судить по данным опробования снежного покрова. В табл. 2.2 приведены параметры загрязнения снежного покрова г. Череповца. Они позволяют количественно оценить состав воздуха над довольно крупным промышленным центром.

Об изменениях состава газов над городом можно судить по поступлению в атмосферу неорганических и органических газов, а также паров техногенного происхождения (табл. 2.3). Особо следует отметить роль автотранспорта в изменении состава газов в атмосфере селитебных ландшафтов (табл. 2.4).

Таким образом, состав атмосферного воздуха в пределах селитебных ландшафтов и за их пределами существенно отличается.

В самих ландшафтах населенных пунктов состав воздуха неоднороден. В районах оживленных автомобильных магистралей и воздействия городских промышленных предприятий он, как это хорошо видно из данных табл. 2.3 и табл. 2.4, сильно отличается от воздуха в зонах рекреации. Можно считать, что атмохимические аномалии в пределах крупных населенных пунктов (как и аномалии в почвах) имеют мозаичный характер, определяемый в основном типом и расположением загрязнителей, а также природными и техногенными ландшафтно-геохимическими факторами, рассмотренными в предыдущем разделе.

Таблица 2.2

Параметры загрязнения металлами снежного покрова г. Череповца (Герасимов, Федоров, 1995)

Table 2.2

Parameters of snow cover contamination with metals in Cherepovets (Gerasimov, Fedorov, 1995)

Химический элемент	Снеговая вода С, мг/л	Взвесь С, мг	В атмосферных выпадениях		
			Р, кг/(км²·год)	% водорастворимых форм	
				город	фон за городом
Алюминий	265	4680	1740	2,7	43
Железо	458	43 400	48 000	0,19	52
Кальций	12 150	26 170	20 630	10,1	93
Магний	4600	9810	6240	9,4	76
Марганец	41,7	1100	493	1,7	32
Барий	–	26,5	7,3	–	–
Стронций	24,2	88,4	39,7	9	81
Ванадий	6,8	72,8	56,5	2,3	37
Цинк	1670	650	558	43	93
Хром	4,2	92,4	33,8	1,8	98
Никель	–	42,7	15,1	–	–
Медь	6,4	50,4	23,6	7,3	67
Кобальт	–	7,3	7,9	–	–
Свинец	–	154	38,8	–	–
Германий	–	63,9	39,3	–	–
Сурьма	–	15,8	3,4	–	–
Кадмий	0,07	3,6	0,93	1,4	86
Висмут	15,6	60,6	21,8	8,3	90

Таблица 2.3

Поступление загрязнителей в атмосферу Лос-Анджелеса в течение суток (по Ж. Детри, 1973)

Table 2.3

The addition of pollutants to the atmosphere of Los Angeles during twenty-four hours (after J. Detrie, 1973)

Источник выделения загрязнителей	Количество выделяемых загрязнителей, (т/сут.)							
	Органические газы и пары			Аэрозоли	Неорганические газы			
	Углеводороды	Ацетальдегиды	Прочие		Окислы азота	SO_2	CO	Прочие
Транспорт	907	11	15	31	393	45	3812	–
Использование нефти для технологических нужд (очистка продукции, др.)	227	2	–	5	5	45	1089	4
Использование органических растворителей	163	38	89	3	–	–	–	–
Сжигание топлива	6	2	8	35	236	363	4	–
Химическая промышленность	15	7	15	3	–	42	–	1
Обработка металлов и минералов	2	–	–	10	–	< 0,5	163	–
Прочие источники	< 0,5	< 0,5	< 0,5	2	< 0,5	< 0,5	–	–
Сумма	**1320,5**	**603,5**	**127,5**	**89**	**634,5**	**496**	**5068**	**5**

Таблица 2.4

Состав выхлопных газов автомобилей европейского производства

Table 2.4

The composition of the exhaust gases of manufactured in Europe cars

Наименование вещества	Содержание, %					
	Бензиновый двигатель			Дизельный двигатель		
	Максимальное	Минимальное	Среднее	Максимальное	Минимальное	Среднее
Углекислый газ	15,0	2,7	9,0	13,8	0,7	9,0
Окись углерода	13,5	–	4,0	7,6	–	0,1
Кислород	17,4	–	4,0	20,0	0,5	9,0
Углеводороды	4,0	–	0,5	0,5	–	0,02
Водород	5,8	–	2,0	2,5	–	0,03
Альдегиды	0,03	–	0,004	0,004	–	0,002
Окислы азота	0,2	–	0,06	0,15	–	0,04
Сернистый газ	0,008	–	0,006	0,03	0,01	0,02

Анализируя информацию о составе приземной атмосферы в селитебных ландшафтах, можно сделать следующие выводы:

1. Состав атмосферных газов ландшафтов населенных пунктов существенно отличается от состава атмосферных газов природных (биогенных) ландшафтов. По сути, в городах мы имеем дело с крупной техногенной атмохимической аномалией. Она сформирована различными загрязнителями и с этой точки зрения является полигенной.

2. Эта крупная аномалия над большими населенными пунктами далеко не однородна и может разделиться на ряд более мелких аномалий, отличающихся как по составу образующих их газов, так и по содержанию этих газов.

3. Особенности атмосферной миграции, связанные с природными и техногенными факторами, привели к тому, что положе-

ние атмохимических аномалий селитебных ландшафтов не является строго зафиксированным в конкретных районах города. В определенные промежутки времени эти аномалии могут перемещаться и даже полностью исчезать.

4. Атмохимические аномалии в селитебных ландшафтах влияют на концентрацию элементов в почвах и растениях.

Гидрохимические аномалии селитебных ландшафтов формируются преимущественно под техногенным воздействием. Так, количество грунтовых вод на единицу площади в населенных пунктах выше, чем в окружающих ландшафтах. Это связано, во-первых, с техногенным поступлением воды (полив улиц, приусадебных участков, парков; просачивание и аварийные прорывы питьевых, промышленных и сточных вод), а во-вторых, с резким уменьшением площадей, с которых возможно непосредственное испарение.

Селитебные ландшафты отличаются от окружающих не только количеством подземных вод, но и их составом, причем характерной особенностью состава подземных вод является мозаичность. Например, в подземных водах, отобранных в различных частях крупного промышленного центра, общая минерализация может изменяться в 3–5 раз, содержание сульфатов – в 100–160 раз, количество суммарного Na и K – в 300 раз, а хлоридов – в 10 000 раз. Содержание большинства компонентов в водах в центральной части городов увеличивается. Это особенно характерно для старых населенных пунктов, сформировавшихся вокруг промышленных предприятий.

В табл. 2.5 приведены данные об изменении химизма вод в различных частях г. Перми в различное время года, а в табл. 2.6 – в различные годы (Иванцов, 1976).

Как правило, наибольшее влияние на состав городских грунтовых вод оказывает не литология водовмещающих отложений, а особенности промышленных предприятий (табл. 2.7).

Таблица 2.5

Сезонные изменения химизма грунтовых вод, г. Пермь

Table 2.5

The seasonal changes in the chemical composition of groundwater of Perm'

Район города	Сезон года	Катионы, мг/л / % мг-экв				Анионы, мг/л / % мг-экв			Вес сухого остатка мг/л
		Ca	Mg	NH_4	Na+K	HCO_3	Cl	SO_4	
Окраина	Зима	118,0 / 38,5	13,2 / 7,0	–	16,9 / 4,5	343,4 / 36,8	33,4 / 6,1	54,7 / 7,1	404
	Лето	185,8 / 38,7	17,0 / 6,0	2,0 / 0,4	25,7 / 4,9	387,5 / 28,6	101,9 / 10,8	117,0 / 10,6	639
Центр	Зима	329,1 / 27,0	51,2 / 6,9	17,2 / 1,5	219,5 / 14,6	902,2 / 24,0	301,3 / 13,4	345,5 / 12,6	1710
	Лето	448,0 / 29,4	52,0 / 5,9	19,9 / 1,2	251,0 / 13,5	729,0 / 15,0	242,1 / 8,8	955,0 / 26,2	2325

Таблица 2.6

Мониторинг химизма грунтовых вод на окраине г. Пермь

Table 2.6

Monitoring of groundwater chemical composition in the outskirts of Perm'

Период времени, года	Катионы, мг/л / % мг-экв				Анионы, мг/л / % мг-экв			Вес сухого остатка мг/л
	Ca	Mg	NH_4	Na+K	HCO_3	Cl	SO_4	
1967–1969	107,4 / 38,9	11,1 / 6,9	0,1 / 0	14,5 / 4,2	310,3 / 37,6	32,9 / 6,7	40,5 / 5,7	358
1971–1972	34,8 / 34,8	8,7 / 8,7	0,3 / 0,1	26,1 / 6,4	422,0 / 38,4	20,7 / 3,5	68,8 / 8,1	467
1973	172,1 / 36,9	17,0 / 6,3	0,6 / 0,1	32,0 / 6,7	432,4 / 31,9	58,7 / 7,2	115,4 / 10,9	607

Таблица 2.7

Химический состав производственных стоков промышленных предприятий и грунтовых вод на занимаемых ими территориях

Table 2.7

The chemical composition of industrial wastewater and groundwater in the territories occupied by them

Предприятия	Содержание компонентов, мг/л	
	В производственных стоках	В грунтовых водах
Черной металлургии	SO_4 – 100–150 Cl – 50–400 Ca – 100–750 Mg – 10–160	SO_4 – до 5200 Cl – до 50 000 Ca – до 2000 Mg – до 350
Цветной металлургии	SO_4 – 250–1400 Cl – 30–110 Ca – 40 Mg – 12	SO_4 – до 1750 Cl – до 600 Ca – до 700 Mg – до 100
Заводы СК	SO_4 – 10 HCl – 1350 CaCl – 5540 NaCl – 11800	SO_4 – до 150 Cl – до 200 Ca – до 270 Na + K – до 1105
Основной химии	HCl – 6000–35 000 NaCl – 26 400 H_2SO_4 – 300–600	Cl – до 35 000 SO_4 – 1000–9000 Na + K – 3300

Таким образом, грунтовые воды селитебных ландшафтов характеризуются рядом особенностей.

1. Содержание целого ряда компонентов позволяет рассматривать в целом воды населенных пунктов как крупную гидрохимическую аномалию.

2. Распределение загрязняющих веществ в таких аномалиях носит мозаичный характер.

3. Содержание в водах приоритетных загрязняющих веществ в различных частях населенных пунктов во многом определяется профилем вблизи расположенных промышленных предприятий и может изменяться в зависимости от времени года, а также в различные годы.

4. Рассмотренные гидрохимические аномалии оказывают существенное влияние на концентрацию химических элементов в почвах и в городской растительности, которые во многом исследуют особенности концентрации элементов в водах. Под воздействием грунтовых вод происходит изменение класса водной миграции почв, что в конечном счете ведет к еще большему изменению в них содержаний целого ряда элементов.

Биогеохимические и геоботанические аномалии. Основными источниками химических элементов, поступающих в растения населенных пунктов, являются, как и в природных ландшафтах, водные растворы, почвы, атмосфера. В свою очередь, с не вывозимым из населенных пунктов опадом, отмирающими подземными частями и за счет транспирации, растения сами являются источниками веществ, поступающих в ландшафт. Основными отличиями биологического круговорота элементов в населенных пунктах от природного биологического круговорота следует считать то, что существенная часть химических элементов, поглощаемых растениями, связана с техногенезом; опад растений во многих случаях сжигается или вывозится; состав (ассоциации) растений контролируется людьми; условия произрастания (особенно в крупных городах) существенно отличаются от природных, что, в первую очередь, относится к наличию аномально высоких и низких концентраций целого ряда элементов в водах, почвах, приземной атмосфере.

Особенности произрастания растений в селитебных ландшафтах приводят к формированию биогеохимических и геоботани-

ческих аномалий. Последние довольно подробно рассмотрены в книге В. А. Алексеенко «Геоботанические исследования для решения ряда экологических задач и поисков месторождений полезных ископаемых» (М.: Логос, 2011).

Особенности поглощения элементов растениями из почв и грунтовых вод и вовлекаемые в своеобразный городской биологический круговорот элементов из подземных частей растений создают специфические условия для миграции и концентрации химических элементов в почвах, характерные лишь для селитебных ландшафтов.

Литохимические (почвенные) аномалии селитебных ландшафтов отличаются от ранее рассмотренных, в первую очередь, наиболее постоянным положением в пространстве (своими контурами) и наиболее стабильными содержаниями составляющих их элементов (соединений). Есть у литохимических аномалий еще целый ряд характерных для них особенностей. Кратко рассмотрим их.

Почвы городских ландшафтов существенно отличаются от почв соседних с ними и ранее существовавших на их месте ландшафтов. Следует отметить, что в старых городах первичных почв практически нет вообще (они относятся к захороненным), а современные почвы в таких городах представляют собой смесь привезенных почв с реликтами первичных почв, а также с промышленным, бытовым и строительным мусором. Содержание в почвах селитебных ландшафтов некоторых элементов (в том числе и тяжелых металлов) часто повышено до токсичного уровня, а распределение элементов – мозаично. Концентрация определенных элементов в почвах различных участков города зависит от количества и состава находящегося в них городского мусора (строительного, бытового, промышленного).

Повышенные содержания некоторых элементов в почвах зависят от количества и состава загрязняющих веществ, поступивших из подземных и поверхностных вод, из городских растений, из атмосферы (прямое выпадение из дымов и поступление с атмосферными осадками) и путем простого механического перемещения от зон концентрации поллютантов.

Следует отметить, что в результате непосредственной антропогенной деятельности, а также под воздействием городской

атмосферы, грунтовых вод и растительности в селитебных ландшафтах существенно изменяется и отличается от природного сам ход процесса миграции-концентрации химических элементов в почвах. В почвах населенных пунктов создаются новые техногенные и техногенно-природные геохимические барьеры (Алексеенко, 2000, 2006), часто не имеющие природных аналогов.

Все это в сумме приводит к тому, что по геохимическим особенностям почвы селитебных ландшафтов существенно отличаются от различных природных почв. По сравнению с почвами биогенных (природных) ландшафтов, почвы населенных пунктов можно и нужно рассматривать как крупные техногенные литохимические аномалии с крайне неравномерным распределением многочисленных элементов – индикаторов.

Подтверждением последнего может служить то, что даже средние содержания ряда химических элементов в почвах на различных участках одного крупного населенного пункта (геохимических ландшафтах, составляющих этот населенный пункт) могут отличаться более чем 10 раз. Это хорошо видно и из табл. 2.8, в которой В. И. Стурман с соавторами (2003) соответствующие объединения ландшафтов г. Ижевска называет типами землепользования в пределах населенных пунктов.

Как уже указывалось, при крупномасштабных исследованиях в пределах населенных пунктов (особенно больших) довольно часто выделяются ландшафты предприятий. Они не только являются важнейшими загрязнителями населенных пунктов, но и сами загрязнены многочисленными поллютантами. На занимаемой ими территории неравномерность распространенности загрязнения довольно часто становится еще большей (табл. 2.9). Также особо следует отметить загрязняющее воздействие дорожных ландшафтов на примыкающие к ним почвы, зависящее во многом от интенсивности движения (табл. 2.10).

Таблица 2.8

Среднее значение концентрации химических элементов в почвах

Table 2.8

The average concentrations of chemical elements in soils

Типы землепользования	Кол-во точек	Средняя концентрация элементов, %							
		Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Mn	Cr	Ti
Застройка многоэтажная	566	0,066	0,014	0,004	0,005	0,001	0,138	0,022	0,287
Застройка малоэтажная	58	0,004	0,016	0,004	0,005	0,002	0,102	0,026	0,265
Застройка усадебная	444	0,007	0,021	0,005	0,006	0,005	0,100	0,024	0,290
Коммуникации	326	0,004	0,012	0,004	0,007	0,002	0,126	0,019	0,335
Промышленные зоны	264	0,024	0,021	0,006	0,032	0,003	0,137	0,067	0,331
Коммунально-складские зоны	49	0,003	0,011	0,005	0,006	0,002	0,147	0,065	0,236
Зеленые насаждения искусственные	201	0,005	0,011	0,005	0,007	0,002	0,097	0,017	0,325
Рекреационные зоны	43	0,002	0,008	0,005	0,005	0,001	0,092	0,015	0,286
Городские леса	396	0,011	0,008	0,005	0,005	0,001	0,108	0,013	0,293
Малоиспользуемые заболоченные земли (поймы рек Иж и Позимь)	535	0,003	0,011	0,005	0,008	0,002	0,136	0,022	0,351
Социально-культурные и оздоровительные учреждения	196	0,009	0,013	0,004	0,005	0,001	0,102	0,019	0,302
Пустыри	144	0,003	0,040	0,005	0,005	0,012	0,146	0,020	0,345
Садово-огородные участки	46	0,002	0,009	0,005	0,005	0,001	0,229	0,024	0,280
Стройплощадки	39	0,004	0,014	0,004	0,006	0,002	0,087	0,016	0,330

Окончание табл. 2.8

Типы землепользования	Кол-во точек	Средняя концентрация элементов, %							
		Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Mn	Cr	Ti
Шлакоотвал	11	0,007	0,021	0,008	0,058	0,041	0,445	0,913	0,279
Кладбища	16	0,003	0,009	0,005	0,005	0,001	0,133	0,012	0,284
Гаражи	20	0,012	0,01	0,003	0,006	0,001	0,155	0,032	0,333
Пашня	130	0,002	0,009	0,005	0,005	0,002	0,086	0,016	0,372

Таблица 2.9

Содержание (минимальное – максимальное) ряда химических элементов в почвах некоторых ландшафтов предприятий (Алексеенко В. А., 2006)

Table 2.9

The concentrations (minimal – maximal) of row of chemical elements in soils of several industrial landscapes (Alekseenko V. A., 2006)

Ландшафты, регион	Содержание приоритетных загрязняющих веществ, $n \cdot 10^{-3}$ % (от/до)													
	Pb	Cu	Zn	Mn	Cr	Ba	V	Mo	Ni	Sn	Sr	Co	Li	Ge
Кожевенный завод; Краснодар, Россия	2/ 100	3/50	20/50	*	50/ 1000									
Химический завод; Ростов-на- Дону, Россия	3/ 300	4/10	8/ 1000	60/ 100		50/ 150								

* элемент не относится к числу приоритетных загрязнителей веществ.

Продолжение табл. 2.9

	Pb	Cu	Zn	Mn	Cr	Ba	V	Mo	Ni	Sn	Sr	Co	Li	Ge
Отстойники химического завода; Ростовская область, Россия	1,4/ 290	8,5/ 290	5,5/ 27000	33/ 100	4,6/ 88			0,46/ 17	0,1/ 15	60	10/ 60		2,4/ 34	
Цементный завод; Новороссийск, Россия	10/ 20	6/50	40/ 150		15/ 100	100/ 800	10/ 20	0,3/3			100/ 150			
Приборостроительный завод; Новороссийск, Россия						80/ 150	8/15				80/ 100		5/6	0,2/ 0,3
Судоремонтный завод; Новороссийск, Россия	8/ 500	8/ 500	8/ 500	100/ 50					2/ 50			0,8/ 5		
Котлостроительный завод; Таганрог, Россия	30/ 50	8/20	50/ 60	200/ 800	20/ 500		20/ 30			2/5				

Окончание табл. 2.9

	Pb	Cu	Zn	Mn	Cr	Ba	V	Mo	Ni	Sn	Sr	Co	Li	Ge
Металлообрабатывающий завод; Новороссийск, Россия	8/50	5/50	8/ 150	100/ 300	5/50			0,4/1		1/ 60				
Машиностроительный завод; Ростов-на-Дону (центр), Россия	2/20	4/10	4/50	50/ 200		40/ 100								
Машиностроительный завод; Ростов-на-Дону (окраина), Россия	2/20	3/6	4/30	6/ 100										
ТЭЦ; Каменск, Россия	4/ 100			150/ 300		80/ 200			5/15					
Полиметаллический рудник; Текели, Казахстан	10/ 1200	4/30	40/ 800	80/ 150	5/10	100/ 600	10/ 20	0,3/1	4/ 10	0,6/ 0,8	30/ 80	2/ 10	5/6	0,2/ 0,5
Кларк почв (по А. П. Виноградову)	1	2	5	85	20	50	10	0,2	4	1	30	0,8	3	n·0,1

Таблица 2.10

Содержание ряда металлов в почвах геохимических ландшафтов г. Ростова-на-Дону ($n \cdot 10^{-3}$ %) вблизи городских транспортных автомагистралей (Алексеенко В. А., 2006)*

Table 2.10

The concentrations of row of metals in soils of geochemical landscapes of Rostov-on-Don ($n \cdot 10^{-3}$ %) near to the city highways (Alekseenko V. A. , 2006)

Исследуемые ландшафты	Металл				
	Mn	Cu	Zn	Pb	Ba
Окружающие город	42/69 56	3,2/5,1 4,2	3,6/6,2 4,5	0,7/2,0 1,4	40/80 45
Ландшафты центральных частей города	30/100 54	3,0/6,0 4,0	6,0/30,0 12,5	2,0/10,0 3,9	50/80 62
Прилегающих к магистралям с легковым транспортом	30/100 62	3,0/60,0 6,1	4,0/60,0 17,7	1,5/20,0 5,6	40/100 73
Прилегающих к магистралям с различным автотранспортом	50/100 77	3,0/15,0 5,4	5,0/60,0 34,0	2,0/30,0 5,8	50/150 77

* *Примечание.* В числителе дроби указаны минимальное и максимальное содержание металлов, а в знаменателе – фоновое, для рассматриваемых ландшафтов.

Таким образом, городские почвы, в которых накапливаются и сохраняются продолжительное время переносимые в атмосферном воздухе и в водах самые различные загрязняющие вещества, можно рассматривать как крупные поликомпонентные литохимические аномалии. Они характеризуются рядом особенностей.

1. Ассоциации химических элементов, образующих аномалии, обусловлены техногенными процессами и лишь в определенной мере скорректированы природными особенностями городских ландшафтов.

2. Распространенность поллютантов в пределах рассматриваемых литохимических аномалий отличается крайней неравномерностью. Это связано с положением загрязнителей (их может быть довольно много), способом поступления загрязняющих веществ в почву, положением и особенностями природных и техногенных геохимических барьеров, на которых концентрируются поллютанты.

3. С неравномерностью распределения загрязняющих веществ, а также с проводимой в городах заменой почв на отдельных участках связано наличие в пределах селитебных ландшафтов участков с содержаниями в почвах элементов – индикаторов, не являющимися аномальными. В связи с этим, по результатам анализов отдельных проб почв часто невозможно делать выводы об их (почв) загрязнении определенными поллютантами.

4. Приоритетные загрязняющие элементы в разных литохимических аномалиях, выделяемых в пределах одного крупного населенного пункта, могут быть различными. Это объясняется поступлением поллютантов от различных загрязнителей в различные участки.

Весь приведенный в этой главе материал позволяет рассматривать с эколого-геохимической точки зрения населенные пункты как крупные техногенные геохимические аномалии, выделяющиеся по сравнению с ландшафтами, окружающие эти пункты. Аномалии являются полигенными и поликомпонентными.

Многолетние исследования техногенных геохимических аномалий, вызываемых самыми различными загрязнителями, позволили сформулировать следующий закон (В. А. Алексеенко):

Ассоциации химических элементов, образующих крупные техногенные геохимические аномалии, определяются в основном уровнем развития науки и техники в период формирования аномалий.

Это, *во-первых*, значит, что крупные техногенные аномалии (аномальные участки, аномальные зоны) образуются не одним–двумя химическими элементами, а довольно большим их числом. *Во-вторых*, химические элементы в крупных техногенных аномалиях, образовавшихся в последние десятилетия, практически одни и те же. Однако следует помнить, что среди довольно боль-

шого числа элементов, образующих аномалию, большинство находится в минимально-аномальных концентрациях. Только несколько элементов находятся в пределах крупных техногенных аномалий в резко повышенных содержаниях. Такие элементы (их соединения), называемые приоритетными загрязняющими веществами, в основном определяются характером (спецификой) загрязнителя, вызвавшего образование аномалии.

Часто при экологических исследованиях все внимание уделяется приоритетным загрязняющим веществам. Однако надо помнить, что повышенные (так же, как и пониженные), по сравнению с привычными, содержания химических элементов будут всегда оказывать отрицательное влияние на живые организмы. В пределах крупных техногенных геохимических аномалий в повышенных (а в отрицательных геохимических аномалиях – существенно пониженных) находятся не отдельные элементы, а их ассоциации. Если влияние многих отдельных элементов на организмы (в том числе и человеческий) уже изучено, то влияние большой группы химических элементов, находящихся в необычных для биосферы (или ее отдельных частей) концентрациях, совершенно неясно.

В населенных пунктах, как уже указывалось, подавляющее большинство людей проводит практически всю свою жизнь. Следовательно от эколого-геохимической обстановки в селитебных ландшафтах зависят, в первую очередь, безопасность жизнедеятельности населения, устойчивое развитие регионов и даже стран. Это заставляет уделять особое внимание изучению эколого-геохимической обстановки в населенных пунктах, представляющих собой крупные полигенные и поликомпонентные атмохимические, гидрохимические, биогеохимические, литохимические техногенные геохимические аномалии.

Так как положение этих аномалий и даже содержание в них поллютантов изменяются (за исключением почвенных литохимических аномалий) очень быстро, иногда даже в течение суток, изучению наиболее постоянных (по указанным параметрам) почвенных, литохимических аномалий следует уделять особое внимание. При этом нужно помнить, что в соответствии с законом развития изменений в ландшафте, изменения, происходящие в любой части ландшафта, сказываются на всех его частях. Следовательно, изменения в приземной атмосфере, водах, растениях скажутся и на эколого-геохимических особенностях почв селитебных ландшафтов. Кроме того, почвы являются основной депонирующей частью геохимических систем биосферы.

Завершая главу о геохимических особенностях селитебных ландшафтов, следует еще раз напомнить о действии закона об ассоциациях элементов в крупных техногенных геохимических аномалиях, которыми являются рассматриваемые ландшафты. Уровень развития науки и техники XXI в. делает необходимым довольно широкое использование *редких химических элементов,* которые начинают входить в указанные выше ассоциации. Это, в свою очередь, заставляет изучать содержания всех химических элементов в геохимических системах биосферы, сложившиеся *в начале нашего века.* При этом особое значение имеет изучение геохимических особенностей почв селитебных ландшафтов. Мы должны получить достаточно достоверную геохимическую характеристику почв селитебных ландшафтов, которая существенно отличается от почв Мира. Следовательно, при различных исследованиях в населенных пунктах и при принятии административных решений, направленных на улучшение медико-экологической обстановки в местах проживания большинства людей и на устойчивое развитие регионов и стран, не всегда можно пользоваться значениями кларков элементов определенных для почв всей Земли. Крайне необходимо установление кларков химических элементов для почв селитебных ландшафтов, а также данные о средних содержаниях элементов в почвах различных групп населенных пунктов. Решению этой проблемы авторы посвятили данную книгу.

ГЛАВА III

КЛАРКИ, МЕСТНЫЕ ФОНОВЫЕ СОДЕРЖАНИЯ И РАЗБРОС ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ОТДЕЛЬНЫХ ГЕОХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ БИОСФЕРЫ

3.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Как было показано выше, в главах 1 и 2, к числу основных показателей, характеризующих биосферу и составляющих ее геохимические системы, относятся содержание и разброс в них химических элементов. Установлению средних содержаний элементов в земной коре были посвящены некоторые работы целого ряда исследователей. Так, еще в 1815 г. английский минералог В. Филлипс начал определение десяти элементов. Эти работы были продолжены французскими учеными Эли де Бемоном и А. Добрэ. Однако все исследования, проведенные до 1889 г., не давали четкого представления о составе земной коры.

Лишь в 1889 г. Ф. У. Кларком, руководителем химической службы геологического комитета США, была составлена первая сводная таблица среднего химического состава земной коры. Работы по уточнению этих данных проводились (и проводятся до настоящего времени). Однако полученные Ф. У. Кларком цифры мало изменились с совершенствованием методов анализов и сохранили свое значение в наше время. Деятельность Ф. У. Кларка, посвятившего более 40 лет рассматриваемым исследованиям, высоко оценивалась основоположниками геохимии. По предложению А. Е. Ферсмана в 1923 г. *величины, характеризующие среднее содержание химических элементов в земной коре*, стали называть **«кларками»**.

Величины кларков (табл. 3.1) определяют течение очень многих геохимических процессов, в том числе и непосредственно влияющих на развитие живых организмов, включая человека; на безопасность жизнедеятельности; на устойчивое развитие ре-

гионов и т. д. Учитывая всё это, а также связь кларковых содержаний химических элементов со строением ядер их атомов, (рис. 3.1), А. Е. Ферсман писал в 1944 г. о кларках: «Геохимия овладела новой константой мира».

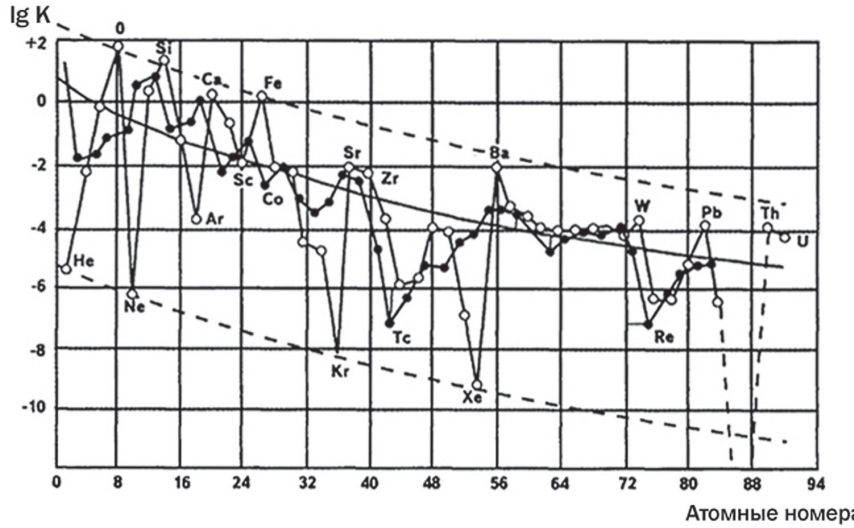


Рис. 3.1. Полулогарифмическая кривая кларков химических элементов в земной коре (по А. Е. Ферсману)

3.2. ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В АБИОГЕННЫХ СИСТЕМАХ

3.2.1. Распространенность

При определении средних содержаний Ф. У. Кларк включил в состав земной коры гидросферу и атмосферу. Но нужно помнить, что на долю гидросферы приходится лишь несколько процентов, а на атмосферу – вообще сотые доли процента от массы твердой земной коры. Это позволяет считать кларками химических элементов их массовые проценты от общей массы твердой части земной коры или от литосферы.

Таблица 3.1

Кларки химических элементов в горных породах и в почве (по А.П. Виноградову) континентов (% массы)

Table 3.1

The abundances of chemical elements in rocks and soils of continents, % (after A.P. Vinogradov)

Элемент	Номер элемента	Земная кора	Ультраосновные породы	Основные породы	Средние породы	Кислые породы		Сланцы	Сланцы + глина	Песчаник	Карбонаты	Почвы
			По данным H. Turekian, K. Wedepohl			богатые Ca	бедные Ca	По данным H. Turekian, K. Wedepohl				
Ag	47	$7\cdot10^{-6}$	$6\cdot10^{-6}$	$n\cdot10^{-5}$	$nx10^{-6}$	$5{,}1x10^{-6}$	$3{,}7x10^{-6}$	$7x10^{-6}$	$1x10^{-5}$	$nx10^{-6}$	$nx10^{-6}$	–
Al	13	8,05	2	7,8	8,8	8,2	7,2	8	10,45	2,5	$4{,}2x10^{-1}$	7,13
As	33	$1{,}7\cdot10^{-4}$	$1x10^{-4}$	$2x10^{-4}$	$1{,}4x10^{-6}$	$1{,}9x10^{-4}$	$1{,}5x10^{-4}$	$1{,}3x10^{-3}$	$6{,}6x10^{-4}$	$1x10^{-4}$	$1x10^{-4}$	$5x10^{-4}$
Au	79	$4{,}3\cdot10^{-7}$	$6x10^{-7}$	$4x10^{-7}$	$nx10^{-6}$	$4x10^{-7}$	$4x10^{-7}$	$nx10^{-7}$	$1x10^{-7}$	$nx10^{-7}$	$nx10^{-7}$	–
B	5	$1{,}2\cdot10^{-3}$	$3x10^{-4}$	$5x10^{-4}$	$9x10^{-6}$	$9x10^{-4}$	$1x10^{-3}$	$1x10^{-2}$	$1x10^{-2}$	$3{,}5x10^{-3}$	$2x10^{-3}$	$1x10^{-3}$
Ba	56	$6{,}5\cdot10^{-2}$	$4x10^{-5}$	$3{,}3x10^{-2}$	$1{,}6x10^{-5}$	$4{,}2x10^{-1}$	$8{,}4x10^{-2}$	$5{,}8x10^{-2}$	$8x10^{-2}$	$nx10^{-3}$	$1x10^{-3}$	$5x10^{-2}$
Be	4	$3{,}8\cdot10^{-4}$	$nx10^{-5}$	$1x10^{-4}$	$1x10^{-6}$	$2x10^{-4}$	$3x10^{-4}$	$3x10^{-4}$	$3x10^{-4}$	$nx10^{-5}$	$nx10^{-5}$	$6x10^{-4}$
Bi	83	$9\cdot10^{-7}$	–	$7x10^{-7}$	–	–	$1x10^{-6}$	–	$1x10^{-6}$	–	–	–
Br	35	$2{,}1\cdot10^{-4}$	$1x10^{-4}$	$6x10^{-6}$	$2{,}7x10^{-6}$	$4{,}5x10^{-4}$	$1{,}3x10^{-4}$	$4x10^{-4}$	$6x10^{-4}$	$1x10^{-4}$	$6{,}2x10^{-4}$	$5x10^{-4}$
Ca	20	2,96	2,5	7,6	1,8	2,53	$5{,}1x10^{-1}$	2,21	2,53	3,91	30,23	1,37
Cd	48	$1{,}3\cdot10^{-5}$	$nx10^{-5}$	$2{,}2x10^{-5}$	$1{,}3x10^{-5}$	$1{,}3x10^{-5}$	$1{,}3x10^{-5}$	$3x10^{-5}$	$3x10^{-6}$	$nx10^{-6}$	$3{,}5x10^{-6}$	$5x10^{-5}$
Ce	58	$7\cdot10^{-3}$	$nx10^{-5}$	$4{,}8x10^{-3}$	$1{,}61\cdot10^{-2}$	$8{,}1x10^{-2}$	$9{,}2x10^{-3}$	$5{,}9x10^{-3}$	$5x10^{-3}$	$9{,}2x10^{-3}$	$1{,}15x10^{-3}$	$5x10^{-3}$
Cl	17	$1{,}7\cdot10^{-2}$	$8{,}5x10^{-3}$	$6x10^{-3}$	$5{,}2x10^{-2}$	$1{,}3x10^{-2}$	$2x10^{-2}$	$1{,}8x10^{-2}$	$1{,}6x10^{-2}$	$1x10^{-3}$	$1{,}5x10^{-2}$	$1x10^{-2}$
Co	27	$1{,}8\cdot10^{-3}$	$1{,}5x10^{-2}$	$4{,}8x10^{-3}$	$1x10^{-4}$	$7x10^{-4}$	$1x10^{-4}$	$1{,}9x10^{-3}$	2x10-3	$3x10^{-3}$	$1x10^{-3}$	$8x10^{-4}$
Cr	24	$8{,}3\cdot10^{-3}$	$1{,}6x10^{-1}$	$1{,}7x10^{-2}$	$2x10^{-4}$	$2{,}2x10^{-3}$	$4{,}1x10^{-4}$	$9x10^{-3}$	$1x10^{-2}$	$3{,}5x10^{-3}$	$1{,}1x10^{-3}$	$2x10^{-2}$
Cs	55	$3{,}7\cdot10^{-4}$	$nx10^{-5}$	$1{,}1x10^{-4}$	$6x10^{-5}$	$2x10^{-5}$	$4x10^{-4}$	$5x10^{-4}$	$1{,}2x10^{-3}$	$nx10^{-5}$	$nx10^{-5}$	$5x10^{-4}$
Cu	29	$4{,}7\cdot10^{-3}$	$1x10^{-3}$	$8{,}7x10^{-3}$	$5x10^{-4}$	$3x10^{-4}$	$1x10^{-3}$	$4{,}5x10^{-3}$	$5{,}7x10^{-3}$	$nx10^{-4}$	$4x10^{-4}$	$2x10^{-3}$
Er	68	$3{,}3\cdot10^{-4}$	$nx10^{-5}$	$2{,}1x10^{-4}$	$7x10^{-4}$	$3{,}5x10^{-4}$	$4x10^{-4}$	$2{,}5x10^{-4}$	$2{,}5x10^{-4}$	$4x10^{-4}$	$5x10^{-5}$	–
Eu	63	$1{,}3\cdot10^{-4}$	$nx10^{-5}$	$8x10^{-5}$	$2{,}8x10^{-4}$	$1{,}4x10^{-4}$	$1{,}6x10^{-4}$	$1x10^{-4}$	$1x10^{-4}$	$1{,}6x10^{-4}$	$2x10^{-5}$	–
F	9	$6{,}6\cdot10^{-2}$	$1x10^{-2}$	$4x10^{-2}$	$1{,}2x10^{-1}$	$5{,}2x10^{-1}$	$8{,}5x10^{-2}$	$7{,}4x10^{-2}$	$5x10^{-2}$	$2{,}7x10^{-2}$	$3{,}3x10^{-2}$	$2x10^{-2}$
Fe	26	4,65	9,43	8,65	3,67	2,96	1,42	4,72	3,33	$9{,}8x10^{-1}$	$3{,}8x10^{-1}$	3,8
Ga	31	$1{,}9\cdot10^{-3}$	$1{,}5x10^{-4}$	$1{,}7x10^{-3}$	$3x10^{-3}$	$1{,}7x10^{-3}$	$1{,}7x10^{-3}$	$1{,}9x10^{-3}$	$3x10^{-3}$	$1{,}2x10^{-3}$	$4x10^{-4}$	$3x10^{-3}$
Gd	64	$8\cdot10^{-4}$	$nx10^{-5}$	$5{,}3x10^{-4}$	$1{,}8x10^{-3}$	$8{,}8x10^{-4}$	$1x10^{-3}$	$6{,}4x10^{-4}$	$6{,}5x10^{-4}$	$1x10^{-3}$	$1{,}3x10^{-4}$	–

Продолжение табл. 3.1

Элемент	Номер элемента	Земная кора	Ультраосновные породы	Основные породы	Средние породы	Кислые породы	Сланцы	Сланцы + глина	Песчаник	Карбонаты	Ультраосновные породы	Почвы
			По данным H. Turekian, K. Wedepohl			богатые Ca	бедные Ca	По данным H. Turekian, K. Wedepohl				
Ge	32	$1{,}4\cdot10^{-4}$	$1{,}5x10^{-4}$	$1{,}3x10^{-4}$	$1x10^{-4}$	$1{,}3x10^{-4}$	$1{,}3x10^{-4}$	$1{,}6x10^{-4}$	$2x10^{-4}$	$8x10^{-5}$	$2x10^{-5}$	$nx10^{-4}$
Gf	72	$1\cdot10^{-4}$	$6x10^{-5}$	$2x10^{-4}$	$1{,}1x10^{-3}$	$2{,}3x10^{-4}$	$3{,}9x10^{-4}$	$2{,}8x10^{-4}$	$6x10^{-4}$	$3{,}9x10^{-4}$	$3x10^{-5}$	$6x10^{-4}$
Hg	80	$8{,}3\cdot10^{-6}$	$nx10^{-6}$	$9x10^{-6}$	$nx10^{-6}$	$8x10^{-6}$	$8x10^{-6}$	$4x10^{-5}$	$4x10^{-5}$	$3x10^{-6}$	$4x10^{-6}$	$1x10^{-6}$
Ho	67	$1{,}7\cdot10^{-4}$	$nx10^{-5}$	$1{,}1x10^{-4}$	$3{,}5x10^{-4}$	$1{,}8x10^{-4}$	$2x10^{-4}$	$1{,}2x10^{-4}$	$1x10^{-4}$	$2x10^{-4}$	$3x10^{-5}$	–
In	49	$2{,}5\cdot10^{-5}$	$1x10^{-6}$	$2{,}2x10^{-5}$	$nx10^{-6}$	$nx10^{-6}$	$2{,}6x10^{-5}$	$1x10^{-5}$	$5x10^{-6}$	$nx10^{-6}$	$nx10^{-6}$	–
J	53	$4\cdot10^{-5}$	$5x10^{-5}$	$5x10^{-5}$	$5x10^{-5}$	$5x10^{-5}$	$5x10^{-5}$	$2{,}2x10^{-4}$	$1x10^{-4}$	$1{,}7x10^{-4}$	$1{,}2x10^{-4}$	$5x10^{-4}$
K	19	2,5	$4x10^{-3}$	$8{,}3x10^{-1}$	4,8	2,52	4,2	2,6	2,28	1,07	$2{,}7x10^{-1}$	1,3
La	57	$2{,}9\cdot10^{-3}$	$nx10^{-5}$	$1{,}5x10^{-3}$	$7x10^{-3}$	$4{,}5x10^{-3}$	$5{,}5x10^{-3}$	$9{,}2x10^{-3}$	$4x10^{-3}$	$3x10^{-3}$	$nx10^{-4}$	$4x10^{-3}$
Li	3	$3{,}2\cdot10^{-3}$	$nx10^{-5}$	$1{,}7x10^{-3}$	$2{,}8x10^{-3}$	$2{,}4x10^{-3}$	$4x10^{-3}$	$6{,}6x10^{-3}$	$6x10^{-3}$	$1{,}5x10^{-3}$	$5x10^{-4}$	$3x10^{-3}$
Lu	71	$8\cdot10^{-5}$	$nx10^{-5}$	$6x10^{-5}$	$2{,}1x10^{-4}$	$1{,}1x10^{-4}$	$1{,}2x10^{-4}$	$7x10^{-5}$	$7x10^{-5}$	$1{,}2x10^{-4}$	$2x10^{-5}$	–
Mg	12	1,87	20,4	4,6	$5{,}8x10^{-1}$	$9{,}4x10^{-1}$	$1{,}6x10^{-1}$	1,5	1,34	$7x10^{-1}$	4,7	$6{,}3x10^{-1}$
Mn	25	$1\cdot10^{-1}$	$1{,}62x10^{-1}$	$1{,}5x10^{-1}$	$8{,}5x10^{-2}$	$5{,}4x10^{-2}$	$3{,}9x10^{-2}$	$8{,}5x10^{-2}$	$6{,}7x10^{-2}$	$nx10^{-3}$	$1{,}1x10^{-1}$	$8{,}5x10^{-2}$
Mo	42	$1{,}1\cdot10^{-1}$	$3x10^{-5}$	$1{,}5x10^{-4}$	$6x10^{-5}$	$1x10^{-4}$	$1{,}3x10^{-4}$	$2{,}6x10^{-4}$	$2x10^{-4}$	$2x10^{-5}$	$4x10^{-5}$	$2x10^{-4}$
N	7	$1{,}9\cdot10^{-3}$	$6x10^{-4}$	$2x10^{-3}$	$3x10^{-3}$	$2x10^{-3}$	$2x10^{-3}$	–	$6x10^{-2}$	–	–	$1x10^{-1}$
Na	11	2,5	$4{,}2x10^{-1}$	1,8	4,01	2,84	2,58	$9{,}6x10^{-1}$	$6{,}6x10^{-1}$	$3{,}3x10^{-1}$	$4x10^{-2}$	$6{,}3x10^{-1}$
Nb	41	$2\cdot10^{-3}$	$1{,}6x10^{-3}$	$1{,}9x10^{-3}$	$3{,}5x10^{-3}$	$2x10^{-3}$	$2{,}1x10^{-3}$	$1{,}1x10^{-3}$	$2x10^{-5}$	$nx10^{-5}$	$3x10^{-5}$	–
Nd	60	$3{,}7\cdot10^{-3}$	$nx10^{-5}$	$2x10^{-3}$	$6{,}5x10^{-3}$	$3{,}3x10^{-3}$	$3{,}7x10^{-3}$	$2{,}4x10^{-3}$	$2{,}3x10^{-3}$	$3{,}7x10^{-3}$	$4{,}7x10^{-4}$	–
Ni	28	$5{,}8\cdot10^{-3}$	$2x10^{-1}$	$1{,}3x10^{-2}$	$4x10^{-4}$	$1{,}5x10^{-3}$	$4{,}5x10^{-4}$	$6{,}8x10^{-3}$	$9{,}5x10^{-3}$	2x 10^{-4}	$2x10^{-3}$	$4x10^{-3}$
P	15	$9{,}3\cdot10^{-2}$	$2{,}2x10^{-2}$	$1{,}1x10^{-2}$	$8x10^{-2}$	$9{,}2x10^{-2}$	$6x10^{-2}$	$7x10^{-2}$	$7{,}7x10^{-2}$	$1{,}7x10^{-2}$	$4x10^{-2}$	$8x10^{-2}$
Pb	82	$1{,}6\cdot10^{-3}$	$1x10^{-4}$	$6x10^{-4}$	$1{,}2x10^{-3}$	$1{,}5x10^{-3}$	$1{,}9x10^{-3}$	$2x10^{-3}$	$2x10^{-3}$	$7x10^{-3}$	$9x10^{-4}$	$1x10^{-3}$
Pd	46	$1{,}3\cdot10^{-6}$	$1{,}2x10^{-5}$	$2x10^{-6}$	–	$nx10^{-7}$	$nx10^{-7}$	–	–	–	–	–
Pr	59	$9\cdot10^{-4}$	$nx10^{-5}$	$4{,}6x10^{-4}$	$1{,}5x10^{-3}$	$1{,}1x10^{-4}$	$8x10^{-4}$	$5{,}6x10^{-4}$	$5x10^{-4}$	$8{,}8x10^{-4}$	$1{,}1x10^{-4}$	–
Rb	37	$1{,}5\cdot10^{-2}$	$2x10^{-5}$	$3x10^{-3}$	$1{,}1x10^{-2}$	$1{,}1x10^{-2}$	$1{,}7x10^{-2}$	$1{,}4x10^{-2}$	$2x10^{-2}$	$6x10^{-3}$	$3x10^{-4}$	$1x10^{-2}$
S	16	$4{,}7x10^{-2}$	$3x10^{-2}$	$3x10^{-2}$	$3x10^{-2}$	$3x10^{-2}$	$3x10^{-2}$	$2{,}4x10^{-1}$	$3x10^{-1}$	$2{,}4x10^{-2}$	$1{,}2x10^{-4}$	$8{,}5x10^{-2}$
Sb	51	$5x10^{-5}$	$1x10^{-5}$	$2x10^{-5}$	$nx10^{-5}$	$2x10^{-5}$	$2x10^{-5}$	$1{,}5x10^{-4}$	$2x10^{-4}$	$nx10^{-6}$	$2x10^{-5}$	–
Sc	21	$1x10^{-3}$	$1{,}5x10^{-3}$	$3x10^{-4}$	$3x10^{-4}$	$1{,}4x10^{-3}$	$7x10^{-4}$	$1{,}3x10^{-3}$	$1x10^{-3}$	$1x10^{-4}$	$1x10^{-4}$	$7x10^{-4}$
Se	34	$5x10^{-6}$	$5x10^{-6}$	$5x10^{-6}$	$5x10^{-6}$	$5x10^{-6}$	$5x10^{-6}$	$6x10^{-5}$	$6x10^{-5}$	$5x10^{-6}$	$8x10^{-6}$	$1x10^{-6}$
Si	14	29,5	20,5	23	29,1	31,4	34,7	7,3	23,8	36,8	2,4	33
Sm	62	$8x10^{-4}$	$nx10^{-5}$	$5{,}3x10^{-4}$	$1{,}8x10^{-3}$	$8{,}8x10^{-4}$	$1x10^{-3}$	$6{,}4x10^{-4}$	$6{,}5x10^{-4}$	$1x10^{-3}$	$1{,}3x10^{-4}$	–

Окончание табл. 3.1

Элемент	Номер элемента	Земная кора	Ультраосновные породы	Основные породы	Средние породы	Кислые породы	Сланцы	Сланцы + глина	Песчаник	Карбонаты	Ультраосновные породы	Почвы
			По данным Н. Turekian, К. Wedepohl			богатые Ca	бедные Ca	По данным Н. Turekian, К. Wedepohl				
Sn	50	$2{,}5x10^{-4}$	$5x10^{-5}$	$1{,}5x10^{-4}$	$nx10^{-4}$	$1{,}5x10^{-4}$	$3x10^{-4}$	$6x10^{-4}$	$1x10^{-3}$	$nx10^{-5}$	$nx10^{-5}$	$1x10^{-3}$
Sr	38	$3{,}4x10^{-2}$	$1x10^{-4}$	$4{,}65x10^{-2}$	$2x10^{-2}$	$4{,}4x10^{-2}$	$1x10^{-2}$	$3x10^{-2}$	$4{,}5x10^{-2}$	$2x10^{-3}$	$6{,}1x10^{-2}$	$3x10^{-2}$
Ta	73	$2{,}5x10^{-4}$	$1x10^{-4}$	$1{,}1x10^{-4}$	$2{,}1x10^{-4}$	$3{,}6x10^{-4}$	$4{,}2x10^{-4}$	$8x10^{-5}$	$3{,}5x10^{-4}$	$nx10^{-6}$	$nx10^{-6}$	–
Tb	65	$4{,}3x10^{-4}$	$nx10^{-5}$	$8x10^{-4}$	$2{,}8x10^{-4}$	$1{,}4x10^{-4}$	$1{,}6x10^{-4}$	$1x10^{-4}$	$9x10^{-5}$	$1{,}6x10^{-4}$	$2x10^{-5}$	–
Th	90	$1{,}3x10^{-3}$	$4x10^{-7}$	$4x10^{-4}$	$1{,}3x10^{-3}$	$8{,}5x10^{-4}$	$1{,}7x10^{-3}$	$1{,}2x10^{-3}$	$1{,}1x10^{-3}$	$1{,}7x10^{-4}$	$1{,}7x10^{-4}$	$6x10^{-4}$
Ti	22	$4{,}5x10^{-1}$	$3x10^{-2}$	1,38	$3{,}5x10^{-1}$	$3{,}4x10^{-1}$	$1{,}2x10^{-1}$	$4{,}6x10^{-1}$	$4{,}5x10^{-1}$	$1{,}5x10^{-1}$	$4x10^{-2}$	$4{,}6x10^{-1}$
Tl	81	$1x10^{-4}$	$6x10^{-6}$	$2{,}1x10^{-5}$	$1{,}4x10^{-4}$	$7{,}2x10^{-5}$	$2{,}3x10^{-4}$	$1{,}4x10^{-4}$	$1x10^{-4}$	$8{,}2x10^{-5}$	$nx10^{-6}$	–
Tn	69	$4{,}3x10^{-4}$	$nx10^{-5}$	$8x10^{-4}$	$2{,}8x10^{-4}$	$1{,}4x10^{-4}$	$1{,}6x10^{-4}$	$1x10^{-4}$	$9x10^{-5}$	$1{,}6x10^{-4}$	$2x10^{-5}$	–
U	92	$2{,}5x10^{-4}$	$1x10^{-7}$	$1x10^{-4}$	$3x10^{-4}$	$3x10^{-4}$	$3x10^{-4}$	$3{,}7x10^{-4}$	$3{,}2x10^{-4}$	$4{,}5x10^{-5}$	$2{,}2x10^{-4}$	$1x10^{-4}$
V	23	$9x10^{-3}$	$4x10^{-3}$	$2{,}5x10^{-2}$	$3x10^{-3}$	$8{,}8x10^{-3}$	$4{,}4x10^{-3}$	$1{,}3x10^{-2}$	$1{,}3x10^{-2}$	$2x10^{-3}$	$2x10^{-3}$	$5x10^{-2}$
W	74	$1{,}3x10^{-4}$	$7{,}7x10^{-5}$	$7x10^{-5}$	$1{,}3x10^{-4}$	$1{,}3x10^{-4}$	$2{,}2x10^{-4}$	$1{,}8x10^{-4}$	$2x10^{-4}$	$1{,}6x10^{-4}$	$6x10^{-5}$	–
Y	39	$2x10^{-3}$	$nx10^{-5}$	$2{,}1x10^{-3}$	$2x10^{-3}$	$3{,}5x10^{-3}$	$4x10^{-3}$	$2{,},6x10^{-3}$	$3x10^{-3}$	$4x10^{-3}$	$3x10^{-3}$	$5x10^{-3}$
Yb	70	$3{,}3x10^{-5}$	$nx10^{-5}$	$2{,}1x10^{-4}$	$7x10^{-4}$	$3{,}5x10^{-4}$	$4x10^{-4}$	$2{,}6x10^{-4}$	$3x10^{-4}$	$4x10^{-4}$	$5x10^{-5}$	–
Zn	30	$8{,}3x10^{-3}$	$5x10^{-3}$	$1{,}05x10^{-2}$	$1{,}3x10^{-2}$	$6x10^{-3}$	$3{,}9x10^{-3}$	$9{,}5x10^{-3}$	$8x10^{-3}$	$1{,}5x10^{-3}$	$2x10^{-3}$	$5x10^{-3}$
Sr	40	$1{,}7x10^{-2}$	$4{,}5x10^{-3}$	$1{,}4x10^{-2}$	$5x10^{-2}$	$1{,}4x10^{-2}$	$1{,}75x10^{-2}$	$1{,}6x10^{-2}$	$2x10^{-2}$	$2{,}2x10^{-2}$	$1{,}9x10^{-3}$	$3x10^{-2}$

Отметим, что даже такая геохимическая система, как твёрдая часть земной коры, является далеко неоднородной. Она сложена горными породами различного минералого-петрографического и химического состава. Однако при расчете кларков она рассматривалась (конечно же, с определенной степенью условности) как достаточно однородная.

Так как по массе горные породы составляют основу литосферы, то можно считать, что *кларки земной коры являются кларками абиогенной, условно однородной геохимической системы.*

В тех случаях, когда необходимо учитывать громадные массы элементов, участвующих в химических процессах глобального уровня, то взаимодействие атомов (как и в лабораторных условиях) происходит не пропорционально их (атомов) массам, а в соответствии с их количеством. Поэтому бывает необходимо устанавливать кларки отдельных химических элементов не только в массовых процентах, но и в процентах от общего числа атомов в системе. Такие кларки называют **атомными кларками.** Наибольшую известность получили атомные кларки, вычисленные А. Е. Ферсманом.

Постепенно термин «кларк» стали распространять на более крупные геохимические системы, такие как Земля в целом, планеты и другие, уже скорее не «гео», а космические системы. Этим же термином стали называть и существенно меньшие геохимические системы и, в первую очередь, системы, являющиеся составной частью литосферы. К ним относятся области, представляющие собой *крупные геологические регионы, значительно отличающиеся друг от друга и от среднего состава литосферы.* А. Е. Ферсман предложил называть их **геохимическими провинциями** и предварительно выделил для территории бывшего Советского Союза 26 таких провинций. Как их пример можно назвать Фенноскандинавский щит, Крым и Кавказ, Закавказье, Московский каменноугольный бассейн и т. д. По мнению Х. Б. Хокса и Д. С. Уэба, при выделении геохимических провинций можно ориентироваться на изменение содержаний *группы элементов даже только в одном, но распространенном в этой области, типе горных пород.*

Средние содержания химических элементов в таких абиогенных геохимических структурах получили название **местных кларковых содержаний.**

К выделению геохимических систем, составляющих литосферу, можно подойти с другой стороны и рассматривать различные типы наиболее распространенных в литосфере горных пород. В этом случае средние содержания химических элементов в определенных горных породах Земли, получивших наибольшее распространение в литосфере, будут **кларковыми содержаниями этих горных пород.** Например, кларковое содержание хрома в песчаниках. Наибольшим распространением в нашей стране пользуются кларки химических элементов, установленные для горных пород разных типов К. Таркяном и К. Ведеполем (Turekian, Wedepohl, 1961; табл. 3.1).

Кларки геохимических провинций, а тем более различных типов горных пород, часто существенно отличаются не только друг от друга, но и от кларка земной коры. Для четкого установления таких отличий В. И. Вернадский еще в 1937 г. ввел такое понятие, как **кларк концентрации.** Он представляет собой отношение местного кларка химического элемента (или кларка определенного типа горных пород) к кларку этого же элемента в земной коре.

Средние содержания химических элементов в абиогенных геохимических системах меньших по размерам, чем были рассмотренны выше, считаем нецелесообразным и даже вредным называть кларковыми. (Иначе можно дойти до абсурда и говорить о кларковых содержаниях на «моей даче или клумбе».) Эти средние (или при определении законов распределения – фоновые) содержания следует называть **«местными фоновыми содержаниями»** определенных химических элементов в конкретной геохимической системе.

3.2.2. Распределение

Выдающийся геохимик В. М. Гольдшмидт обосновал один из основных геохимических законов:

Распространенность химических элементов в земной коре (величины их кларковых содержаний) зависит от строения атомного ядра, а распределение элементов, обязанное их миграции, зависит от наружных электронов атомов этих элементов.

Это глубокое обобщение касается глобальных (планетарных) геохимических систем. А. И. Перельман также отметил, что в различных геохимических процессах роль строения атома элемента (а следовательно, величина его кларкового содержания) и его наружных электронных оболочек неодинаковы для различных химических элементов. Так, ряд элементов с одинаковыми кларками (Ga, N и Co, Sn и V и т. д.) ведет себя в земной коре резко различно, а элементы с различными кларками (S и Se, Ca и Sr и т. д.) – сходно. Все такие случаи требуют особого изучения, которое пока практически не проводилось, но имеет большое теоретическое и практическое значение.

Распространенность элементов, как было показано выше, в абиогенных геохимических системах определяется кларком и местным фоновым содержанием, а конкретного показателя распределения элементов в планетарных абиогенных системах до введения величины абсолютного разброса (АР) не было. (Величины АР элементов приведены в табл. 3.2). В соответствии с основным законом В. М. Гольдшмидта, распределение элементов в такой глобальной абиогенной системе, как земная кора, должно зависеть от наружных электронов атомов этих элементов. Кроме того, если предлагаемый показатель (абсолютный разброс химических элементов в верхних частях литосферы или только в магматических породах) по своему научному и практическому значению близок к кларку, то он также должен быть связан со строением атомов.

Оценим сначала возможную связь АР со строением ядер. Для этого, как и в случае с кларком (рис. 3.1, см. цв. вклейку), построим полулогарифмический график, где по горизонтали отложим порядковые номера химических элементов, а по вертикали – логарифмы величин их абсолютных разбросов в породах и почвах континентов (рис. 3.2, см. цв. вклейку). На рисунке довольно отчетливо видно отсутствие связи АР со строением ядер элементов.

Однако если есть закономерности связи разброса химических элементов в глобальных (планетарных) системах со строением их атомов, то такая связь может быть не только с особенностями строения ядер атомов (как у кларка), но и с особенностями, связанными со строением электронных оболочек, о чем гласит

Таблица 3.2

Величины абсолютных и относительных разбросов (АР и ОР) кларкового содержания химических элементов в магматических породах, породах континентов и образованиях океанического дна (по В. А. Алексеенко)

Table 3.2

The absolute and relative scatters of chemical elements abundances in igneous rocks, rock formations of the continents and the ocean floor (after V. A. Alekseenko)

Элемент	Порядковый номер элемента	Кларк земной коры	АР в породах		ОР в породах континентов	АР в образованиях дна океана	ОР в образованиях дна океана
			Магматических	Континентов			
1	2	3	4	5	6	7	8
Ag	47	$7\cdot10^{-6}$	2,9	13,5(3)	4,5	2,2	0,7
Al	13	8,05	4,4	24,9	5,7	4,2	0,9
As	33	$1,7\cdot10^{-4}$	2*	13	6,5	13	6,5
Au	79	$4,3\cdot10^{-7}$	1,5*	6	4	1,5	1
B	5	$1,2\cdot10^{-3}$	3,3	33,3	10	76,7	**23,2**
Ba	56	$6,5\cdot10^{-2}$	**4000***	4000	1	5750	1,4
Be	4	$3,8\cdot10^{-4}$	6	12(6)	2(2)*	5,2	0,9
Bi	83	$9\cdot10^{-7}$	1,4*	1,4	1		
Br	35	$2,1\cdot10^{-4}$	4,5	6,2	1,4	70	**15,6**
Ca	20	3,96	14,9	59,3	4	12,5	0,84
Cd	48	$1,3\cdot10^{-6}$	3,8	14,3	3,76	10	2,6
Ce	58	$7\cdot10^{-3}$	**322***	322	1	690	2,14
Cl	17	$1,7\cdot10^{-2}$	8,7	52	6	350	40,4
Co	27	$1,8\cdot10^{-3}$	**150***	1500	**10**	214,3	1,4
Cr	24	$8,3\cdot10^{-3}$	**800***	800	1	145	0,18
Cs	55	$3,7\cdot10^{-4}$	8	24	3	15	1,9
Cu	29	$4,7\cdot10^{-3}$	17,4	21,7	1,3	25	1,4
Er	68	$3,3\cdot10^{-4}$	14	14	1	30	2,1
Eu	63	$1,3\cdot10^{-4}$	5,6	14	2,5	12	2,1
F	9	$6,6\cdot10^{-2}$	12	12	1	13	1,1
Fe	26	4,65	6,6	24,8	3,7	10,5	1,6
Ga	31	$1,9\cdot10^{-3}$	20	20	1	13,3	0,7
Gd	64	$8\cdot10^{-3}$	36	36	1	76	2,1
Ge	32	$1,4\cdot10^{-4}$	1,5*	25(10)	**16,7(6,6)**	10	6,7
Hf	72	$1\cdot10^{-4}$	18,3	36,7	2	10	0,6
Hg	80	$8,3\cdot10^{-6}$	1,8*	40(13)	**22,2(7,2)**	10	5,6
Ho	67	$1,7\cdot10^{-4}$	7	11,7	1,7	15	2,1
In	49	$2,5\cdot10^{-5}$	26	26	1	22	0,8
I	53	$4\cdot10^{-5}$	1*	10(4)	**10(4)**	10	10

Окончание табл. 3.2

1	2	3	4	5	6	7	8
K	19	2,5	**1200***	1200	1	625	0,5
La	57	$2,9\cdot10^{-3}$	**140***	184	1,3	230	1,6
Li	3	$3,2\cdot10^{-3}$	80	132	1,7	114	1,4
Lu	71	$8\cdot10^{-5}$	4,2	10,5	2,5	9	2,1
Mg	12	1,87	**127,5***	127,5	1	51	0,4
Mn	25	$1\cdot10^{-1}$	4,1	32,4	7,8	6,7	1,6
Mo	42	$1,1\cdot10^{-4}$	5	13	2,6	90	18
N	7	$1,9\cdot10^{-3}$	5	166,7(100)	**33,3(20)**	3,3	0,7
Na	11	2,5	9,62	101	**10,5**	9,5	1
Nb	41	$2\cdot10^{-3}$	2,1	700	**333**	4,1	1,9
Nd	60	$3,7\cdot10^{-3}$	**130***	130	1	280	2,1
Ni	28	$5,8\cdot10^{-3}$	**500***	1000	2	66,7	0,1
P	15	$9,3\cdot10^{-2}$	5	6,5	1,3	6,82	1,4
Pb	82	$1,6\cdot10^{-3}$	19	20	1	80	4,2
Pd	46	$1,3\cdot10^{-6}$	24	24	1	6	0,2
Pr	59	$9\cdot10^{-4}$	30	30	1	66	2,2
Rb	37	$1,5\cdot10^{-2}$	**850***	1000	1,2	550	0,6
S	16	$4,7\cdot10^{-2}$	**1***	12,5	**12,5**	4,3	4,3
Sb	51	$5\cdot10^{-5}$	5	40	8	10	2
Sc	21	$1\cdot10^{-3}$	10	30	3	15	1,5
Se	34	$5\cdot10^{-6}$	1*	**60(12)**	**60(12)**	3,4	3,4
Si	14	29	1,7*	9	9	7,81	4,6
Sm	62	$8\cdot10^{-4}$	36	1	1	76	2,1
Sn	50	$2,5\cdot10^{-4}$	10	20	2	3	0,3
Sr	38	$3,4\cdot10^{-2}$	**465***	610	1,3	2000	4,3
Ta	73	$2,5\cdot10^{-4}$	4,2	84	**20**	22	5,2
Tb	65	$4,3\cdot10^{-4}$	16	40	2,5	16	1
Th	90	$1,3\cdot10^{-3}$	**4250***	4250	1	1750	0,4
Ti	22	$4,5\cdot10^{-1}$	46	46	1	46	1
Tl	81	$1\cdot10^{-4}$	38,3	46	1,2	13,3	0,3
Tm	69	$2,7\cdot10^{-5}$	3	15	5	12	4
U	92	$2,5\cdot10^{-4}$	**3000***	3700	1,2	1300	0,4
V	23	$9\cdot10^{-3}$	8,3	12,5	1,5	12,5	1,5
W	74	$1,3\cdot10^{-4}$	3,1	3,7	1,2	10	3,2
Y	39	$2\cdot10^{-3}$	80	100(80)	1,3(1)	180	2,3
Yb	70	$3,3\cdot10^{-5}$	14	14	1	30	2,1
Zn	30	$8,3\cdot10^{-3}$	3,3	8,67	2,6	4,7	1,4
Zr	40	$1,7\cdot10^{-2}$	11,1	26,3	2,4	7,5	0,7

Примечание. **2*** – минимальный абсолютный разброс в магматических породах; **4000*** – максимальный абсолютный разброс в магматических породах; **23,2** – максимальный относительный разброс в породах континентов и образованиях дна океана; 2 (1)** – в скобках данные учета содержания в почве.

закон В. М. Гольдшмидта. Роль оболочек в геохимии к настоящему времени можно характеризовать тремя основными, связанными между собой показателями. Ими являются *потенциал (энергия) ионизации, сродство к электрону и электроотрицательноть.*

Потенциал ионизации (In) представляет собой численное выражение энергии, необходимой для отрыва электрона от атома или иона. Так как энергия для отрыва первого и последующих электронов может отличаться весьма существенно, в последующих построениях будем оперировать энергией, необходимой для отрыва первого электрона от электрически нейтрального атома.

Величины энергии ионизации рассматриваются во многих учебниках, справочниках и обзорных работах. При этом значения, приводимые разными авторами, несколько отличаются друг от друга. В этой работе используются значения In по публикации Дж. Эмсли «Элементы», который, в свою очередь, ссылается на работы ряда исследователей.

Особо отметим, что с увеличением значений потенциалов ионизации резко уменьшается возможность образования чисто ионных кристаллических решеток. В этом случае начинают преобладать атомно-ионные и атомные решетки, отличающиеся большей устойчивостью. Образующие их элементы становятся в условиях биокосных систем менее доступными для организмов. Существует также определенная связь между потенциалами ионизации, скачками в строении электронных оболочек атомов и величинами кларков. Таким образом, если есть связь между АР элементов в планетарных системах и потенциалом ионизации этих элементов, то автоматически АР становится связан с устойчивостью кристаллических решеток, со скачками в строении электронных оболочек.

Для выявления связи АР элементов с их потенциалами ионизации построим (как это было сделано А. Е. Ферсманом для кларков – см. рис. 3.1) полулогарифмический график (рис. 3.3, см. цв. вклейку). Его анализ позволяет сделать определенные выводы.

1. Между рассматриваемыми показателями существует довольно четко выраженная связь. Она гораздо более явная, чем признанная всеми связь между кларками земной коры и порядковым номером элементов (см. рис. 3.1). Хотя в данном случае, говоря о связи, мы отмечаем только общее возрастание величин АР элементов при общем уменьшении потенциалов ионизации этих элементов. Существует даже значимая с вероятностью более 95 % парная корреляционная зависимость между рассматриваемыми величинами. Коэффициент корреляции равен −0,47 при критическом значении 0,28.

2. Возрастание величин абсолютного разброса элементов происходит при неравномерном уменьшении значений энергии ионизации этих элементов. В целом можно считать, что *чем с меньшими энергетическими затратами атомы химических элементов переходят в положительно заряженные ионы, тем больший разброс характерен для этих элементов в породах и в почвах континентов.*

Дальнейшим следствием из этого вывода можно считать следующее положение: в формировании пород и почв континентов, несомненно, большую роль должна была играть (возможно, на определенных стадиях) миграция элементов в ионной форм (Алексеенко, 2000, 2006).

3. Отклонения от равномерного убывания значений потенциалов ионизации при возрастании величин абсолютного разброса определяются особенностями строения электронных оболочек:

а) наибольшие положительные отклонения от осредняющей линии характерны для элементов VIIA группы – галогенов (F, Cl, Br, I); на их внешней оболочке находится по 7 электронов, и для них энергетически выгоднее присоединить электрон, чем его отдать. Согласно установленной выше закономерности, разброс элементов должен был бы увеличиваться в группе галогенов (при учете только энергии ионизации) в следующем порядке: F < Cl < Br < I. Мы же в природе наблюдаем такой ряд абсолютного разброса элементов I < Br < F < Cl. Природная картина абсолютного разброса во многом может объясниться тем, что, по данным А. С. Поваренных, Cl и F в условиях земной коры имеют несравненно больше собственных минеральных видов – соответственно 97 и 86, тогда как I и Br всего лишь 8 и 1. Кроме того, Cl, Br и F относятся, по классификации А. И. Перельмана, к подвижным водным мигрантам, а I – к воздушным. Это также может свидетельствовать (Алексеенко, 2000, 2006) о *значительной*

роли водной миграции ионов в формировании осадочных пород и почв континентов;

б) наибольшие отрицательные отклонения от осредняющей линии отмечены для элементов первой группы (А) таблицы Д. И. Менделеева; на их внешней оболочке расположено по одному валентному электрону. Небольшие энергетические затраты, необходимые для перехода этих элементов (Li, Na, K, Rb, Cs) в ионы, обусловили их довольно большой абсолютный разброс в глобальных природных системах.

4. Элементы с малыми значениями величины АР (соответственно, с большими In) склонны к образованию наиболее устойчивых кристаллических решеток и в условиях биокосных систем менее доступны организмам. Это сказалось и на содержании элементов в организмах (см. далее).

Сродство к электрону является еще одним энергетическим показателем особенностей строения электронных оболочек и образования ионов. Этот показатель определяет энергию, выделяющуюся при присоединении электрона к нейтральному атому. Положительные значения сродства означают энергетическую выгодность, а отрицательные – необходимость затраты энергии при присоединении дополнительного электрона.

Для оценки связи величин абсолютного разброса элементов со значениями энергетических показателей сродства к электрону построим еще один полулогарифмический график (рис. 3.4). Величина сродства к электрону в данном исследовании и при построении графика выражена в кДж/моль. При этом использовались справочные данные. Анализируя график, можно сделать следующие выводы:

1. Между величинами сродства к электрону и логарифмов значений абсолютного разброса элементов в породах и почвах континентов существует достаточно хорошо выраженная связь. Даже коэффициент парной корреляции равен 0,27 при критическом значении 0,23 (вероятность 95 %).

2. Возрастание величин абсолютного разброса происходит при неравномерном уменьшении значений сродства к электрону.

3. Наибольшие положительные отклонения от осредняющей линии у значений сродства к электрону отмечаются (как и в случае с потенциалом ионизации) у галогенов (F, Cl, Br, I), что

объясняется уже рассмотренными особенностями строения их электронных оболочек. Отрицательные отклонения отмечаются у элементов II группы (Ca, Sr и незначительные у Ba, Cd, Be, Mg). Для атомов этих элементов характерны два валентных электрона, находящихся на s-АО внешнего энергетического уровня. Во всех природных соединениях эти элементы двухвалентны, и присоединение электронов для них энергетически невыгодно.

Таким образом, и основные отклонения от рассмотренной связи могут объясняться, как и сама связь, особенностями строения электронных оболочек.

Электроотрицательность (ЭО) является третьим из показателей, наиболее используемых для характеристики особенностей строения электронных оболочек и образования ионов. По определению Л. Полинга, это «число, описывающее силу притяжения электрона [атомом] при ковалентной связи» (1932). В целом, рассматриваемый показатель, наверное, лучше других отражает «склонность» элементов к образованию анионов и катионов.

Элементы с большими значениями ЭО являются типичными *неметаллами*, с малыми – типичными *металлами*. Элементы с большой разностью электроотрицательностей образуют существенно ионные связи. Формирующиеся при этом минералы хорошо растворимы в воде. Все это сказывается на последующем распределении элементов и на их доступности организмам.

Наиболее часто используют относительные значения электроотрицательности химических элементов, установленные Полингом. Они являются безразмерными.

В середине прошлого века А. С. Поваренных начал определять величину электроотрицательности в ккал/г-ат. В настоящей работе значения ЭО приводятся по Полингу. Они использовались и при составлении полулогарифмического графика, построенного для установления связи АР и ЭО (рис. 3.5). Его анализ позволил установить следующее:

1. Существует довольно четко выраженная связь между абсолютным разбросом элементов в породах и почвах континентов и электроотрицательностью; с неравномерным повышением значений ЭО абсолютный разброс уменьшается.

2. Наибольшие отклонения от осредняющей линии у значений электроотрицательности характерны для галогенов (F, Cl,

Br, I), что объясняется уже рассмотренными особенностями строения электронных оболочек этих элементов.

3. Между рассматриваемыми величинами существует даже значимая, с вероятностью 95 %, корреляционная зависимость. Коэффициент парной корреляции равен −0,52 при критическом значении 0,28.

Таким образом, видно, что для значений величин АР химических элементов в такой системе как земная кора, их связь со строением электронных оболочек более четкая, чем у значений кларковых величин со строением атомных ядер соответствующих элементов. Оценивая значение показателя разброса химических элементов, академик РАЕН В. Т. Трофимов писал: «...в планетарных системах он (разброс химических элементов) может считаться такой же “константой мира”, как и сам кларк» (Геоэкология № 4, 2007, изд. РАН «Наука»).

При использовании показателей абсолютного и относительного разброса химических элементов в литосфере коллективом авторов (В. А. Алексеенко, В. В. Добровольский, А. В. Суворинов и др.) было сделано открытие (диплом Международной ассоциации № 136; 14 декабря 1999 г.), позволяющее говорить об эволюционных и катастрофических (в том числе техногенных) изменениях разброса химических элементов в истории биосферы, которые оказали несомненное воздействие на развитие живых организмов.

3.2.3. Основные закономерности распространенности кларков земной коры

К числу важнейших геохимических законов относится закон Кларка–Вернадского о всеобщем рассеянии химических элементов (имя закону дал геохимик, основатель геохимических методов поисков Н. И. Сафронов). Сам закон можно сформулировать так:

В любом природном объекте Земли содержатся все химические элементы, находящиеся в ее коре.

В настоящее время при анализе отдельных природных объектов (это касается абиогенных, а в большей мере биогенных и биокосных систем) некоторые элементы не обнаруживаются. Однако в этих случаях речь может идти не о нарушении закона, а о недостаточной чувствительности аналитических методов. Ряд исследователей считает пределом рассеяния концентрацию, соответствующую одному атому в 1 см^3 вещества.

Рассмотрим общую картину распространенности в земной коре химических элементов, используя их кларковые содержания.

1. Элементы *распространены в земной коре крайне неравномерно*. Одних из них в миллиард миллиардов раз (от $n{\cdot}10$ до $n{\cdot}10^{-16}$) больше, чем других. На долю только O и Si приходится около 70 % массы земной коры.

Если учитывать объемы атомов, то рассматриваемая неравномерность станет еще более контрастной.

Многими исследователями химические элементы группировались с учетом их кларковых содержаний. Так, иногда *породообразующими* называются девять наиболее распространенных в литосфере химических элементов: O, Si, Al, Fe, Ca, K, Na, Mg, Ti. На их долю приходится 99,5 % массы земной коры.

Элементы с массовым кларком меньше $1{\cdot}10^{-2}$ % иногда называют *редкими*.

Однако по современным воззрениям, после работ А. И. Гинзбурга, к редким химическим элементам, относят только элементы мало используемые человечеством, независимо от их кларкового содержания. Число таких элементов с развитием науки и техники сокращается довольно быстро.

Иногда употребляется термин *микроэлементы* (особенно в биологической литературе). А. И. Перельман рекомендует (1979) использовать его только с указанием конкретной природной системы. Так, Al – микроэлемент в организмах и макроэлемент в литосфере. В качестве порогового значения предложено брать $1{\cdot}10^{-2}$ %.

2. Рассматривая кривую Ферсмана (см. рис. 3.1), легко заметить, что положение большей части элементов колеблется, не отходя далеко от условной усредняющей (на рисунке она показана сплошной линией). По отношению к усредненному распро-

странению выделяются элементы, резко преобладающие – *избыточные* и с особо малым содержанием – *недостаточные.*

• К избыточным относятся O, Al, Si ,Fe, Ba, Th. Несколько условно к ним иногда причисляют K, Ca, Pb. Объяснить их избыточное распространение какой-либо одной важнейшей причиной пока не удалось.

• К недостаточным относятся резко дефицитные инертные газы: He, Ne, Kr, Xe, Ar, а также Li, Be, B. Малая распространенность благородных газов объясняется двумя гипотезами. Первая предполагает их постоянный отток от Земли – так называемое «гелиевое дыхание Земли». Эта гипотеза является более распространенной среди геохимиков начиная с В. И. Вернадского и А. Е. Ферсмана. По второй гипотезе еще при формировании планеты инертные газы оттеснялись от сгущавшихся частиц (как это наблюдается в хвостах планет) и были дефицитными уже на этой стадии.

Низкие кларки Li, Be, B обычно объясняются недостаточной устойчивостью их атомных ядер. Это подтверждается экспериментальными данными.

3. Ведущим химическим элементом земной коры является кислород. Его массовый кларк определяется в пределах 46,28 –49 %, атомный – 53,3 %, а объемный 92 %. Это позволяет считать земную кору кислородной сферой. В земной коре, 92 % объема которой приходится на долю кислорода, преобладают так называемые «бескислородные восстановительные обстановки». Это означает, что в большей части литосферы отсутствует свободный кислород. Даже в биосфере встречается довольно много зон с «бескислородными» глеевой и сероводородными обстановками.

4. Возвращаясь к рис. 3.1, отметим, что *содержание химических элементов в земной коре неравномерно убывает по мере увеличения их порядкового номера и атомных масс.* Так, из шести элементов, составляющих 98 % объема коры, наибольший порядковый номер – 20, а наибольшая атомная масса – 40 (Ca). О резком преобладании легких элементов свидетельствует и средняя атомная масса земной коры, равная 17,25. Для сравнения вспомним, что атомная масса As равна 74,92; Sr – 87,62; Cd – 112,41, W – 183,8; Hg – 200,5; Pb – 207,2 и U – 238,2.

Рассмотренная закономерность позволила сделать следующий важный для экологической геохимии вывод:

Процесс эволюционного развития живых организмов происходил в среде с резким преобладанием легких химических элементов над тяжелыми.

Если исходить из этого, становятся понятными токсичность тяжелых металлов при их повышенной концентрации и «биологическая важность» элементов в зависимости от их положения относительно линии питательных веществ («линии жизни»).

5. В таблице Д. И. Менделеева элементы с четными порядковыми номерами и четными значениями атомной массы являются более распространенными, чем рядом расположенные элементы с нечетными значениями атомной массы. Эта закономерность была установлена итальянцем Г. Оддо и американцем В. Гаркинсом и получила название Оддо–Гаркинса. Всего же массовые кларки четных элементов составляют в сумме более 86 %.

6. Особым преобладанием в земной коре отличаются элементы, атомная масса которых кратна четырем: O (16), Mg (24), Si (28), Ca (40). В связи с этим можно предполагать, что если бы не удаление с Земли He, Ne, Ar, то их кларки были бы несравненно большими.

7. Среди изотопов одного элемента обычно преобладают те, массовое число которых кратно четырем. Особо наглядно это выглядит на примере кислорода и серы (значения указаны в процентах):

^{16}O – 99,75 ^{32}S – 95,1 ^{34}S – 4,22
^{17}O – 0,04 ^{33}S – 0,75 ^{36}S – 0,02
^{18}O – 0,20

8. У нечетных и четных элементов начала таблицы Менделеева наибольшие кларки характерны для шестых по порядковому номеру элементов: у нечетных – H (1), N (7), Al (13), K (19), Mn (25); у четных – O (8), Si (14), Ca (20), Fe (26). Объяснения этой закономерности пока нет.

3.2.4. Основные закономерности распределения химических элементов в верхних частях земной коры

Придерживаясь точки зрения В. И. Вернадского о возникновении жизни на Земле одновременно с ее (Земли) формированием, следует предполагать, что первые организмы появились на магматических образованиях после вертикальной дифференциации вещества (ряд исследователей называет ее «субконцентрической гравитационной»). Можно также считать, что к этому времени в верхней части планеты уже существовало разделение пород на ультраосновные, основные и кислые. В наиболее высокотемпературных породах собственные минералы образовали в основном четно-атомные элементы с малыми размерами ионных радиусов. Высокие температуры способствовали изоморфному накоплению в минералах элементов – примесей. В последующих условиях биосферы минералы, образовавшиеся в этих условиях, довольно быстро разрушаются, а составляющие их элементы становятся особо доступными живым организмам.

При падении температур образования пород в них увеличивается содержание SiO_2, уменьшается роль двухвалентных катионов (Mg^{2+}, Fe^{2+}, Ca^{2+}) и возрастает роль одновалентных (Na^{+}, K^{+}); отмечается тенденция к уменьшению величин энергетических коэффициентов (ЭК).

При переходе к кислым породам, хотя еще преобладают четно-атомные элементы (O, Si), но резко возрастает роль нечетно-атомных (Al, K, Na), усложняется структура основных породообразующих минералов.

В условиях возникающей биосферы, при выветривании различных магматических пород, более доступными для организмов становятся (как это объясняется вышесказанным) сразу различные группы химических элементов. Однако для развития живых организмов важны (не менее, чем абсолютная концентрация каждого из элементов) возможные колебания содержания одного и того же элемента, вызванные преимущественным развитием еще в «прарегионе» конкретных типов магматических горных пород. Чтобы рассмотреть такие колебания и их вероятное влияние на живые организмы, определялся абсолютный разброс содержания для каждого элемента.

Он устанавливался по отношению максимального кларкового содержания элемента, характерного для магматических пород одного типа, к минимальному кларковому содержанию, характеризующему, естественно, уже другой тип магматических пород (табл. 3.1, 3.2).

Чем выше абсолютная величина такого разброса, тем к большим последующим колебаниям концентраций должны быть приспособлены живые организмы (в этом случае мы говорим не о конкретных их видах, а о жизни на Земле как таковой). Кроме того, при больших значениях отношения C_{max}/C_{min} могут появляться организмы, существующие только при очень высоких или очень низких концентрациях в окружающей (питающей) среде конкретного элемента. Это явление довольно хорошо изучено по отношению к растениям в связи с поисками месторождений полезных ископаемых. Так, ряд растений произрастает только над рудами, где содержание металлов в сотни, тысячи раз выше, чем во вмещающих их породах. Другие растения, находящиеся в этих же условиях, или погибли, или приобрели совершенно нехарактерные физиологические и морфологические особенности (Алексеенко, 2011). В последнем случае появляется возможность говорить о процессах мутации. Их началом (в зависимости от изменения геохимической обстановки среды обитания) в истории развития жизни, вероятно, можно считать появление организмов, живущих при наиболее высоких (низких) концентрациях определенных элементов в различных типах магматических пород.

Рассмотрим распределение элементов с этой точки зрения. Разброс абсолютных значений отношения C_{max}/C_{min} для разных элементов в магматических породах колеблется от величины близкой к единице до 4250. (Естественно, что при дальнейшем уточнении кларковых значений указанные величины могут несколько измениться, но эти изменения не будут носить глобального характера и установленные закономерности сохранятся.) Ряд полученных цифр нами рассматривался как отдельная выборка. Распределение в ней значений Cmax/Cmin подчиняется логарифмически нормальному закону. Фоновой можно считать величину отношения, равную 13 при «минимально аномальных» значениях 127 и 1,3 (Алексеенко, 2000).

Таким образом, по рассматриваемому показателю химические элементы в магматических породах могут быть предварительно разделены на три группы. В первую попадают 13 элементов с $C_{max}/C_{min} > 127$; во вторую, которая является основной, 45 элементов с разбросом значений C_{max}/C_{min} от 80 до 2,19, а в третью группу – 9 элементов со значениями данного отношения от 2 до 1.

Аномально высокие значения C_{max}/C_{min} характерны для 13 следующих элементов: Th (4250), Ba (4000), U (3000), K (1200), Rb (850), Cr (800), Ni (500), Sr (465), Ce (322), Co (150), La (140), Nd (140), Mg (127) (см. табл. 3.2). Первые три из них выделяются особенно большим абсолютным разбросом средних содержаний даже в этой аномальной группе.

Максимальные кларковые содержания радиоактивных элементов Th (тория) и U (урана) характерны для кислых магматических пород, а минимальные – для ультраосновных (см. табл. 3.1). Следует отметить, что, по данным А. А. Смыслова, отмечается обогащение щелочных серий магматических пород элементами U и Th. Кроме того, даже в пределах одного и того же петрохимического типа пород, средние содержания обоих металлов могут изменяться в больших интервалах в зависимости от формационной принадлежности магматических пород. Таким образом, истинный разброс местных кларков U и Th магматических пород еще больше, чем указано в табл. 3.2. В интрузивных породах эти элементы часто встречаются в рассеянном состоянии в породообразующих минералах, в эффузивных – в вулканическим стекле, а при перекристаллизации эффузивных пород они концентрируются на границах минеральных зерен и в микротрещинах. При этом оба металла становятся подвижными и довольно легко выщелачиваются, становясь более доступными организмам.

Максимальный кларк Ba (бария) характерен для средних по составу магматических пород, а минимальный – для ультраосновных.

Учитывая, что рассматриваемые три элемента расположены не только ниже «линии жизни» (рис. 1.6), но и характеризуются массовыми числами от 137 (Ba) до 238 (U) при средней атомной массе земной коры 17,25, можно считать, что *в регионах, сложенных кислыми, а отчасти и средними породами, создавались весьма специфические условия с резко повышенными концентрациями удаленных от «линии жизни» тяжелых химических элементов.* В кислых породах также резко повышено содержание K, Rb, а в средних – особо тяжелых Ce, La и Nd. Вполне вероятно, что в регионах с такими породами нормально развиваться могли не все организмы. Большая часть остальных элементов рассматриваемой группы сконцентрирована преимущественно в ультраосновных породах, однако характеризующие их массовые числа сравнительно невелики и располагаются близко от «линии жизни».

Большой разброс кларков элементов магматических пород первой группы в процессе эволюции жизни на Земле оказал несомненное воздействие и на «привыкание» организмов (в целом, а не отдельных видов) к изменяющимся концентрациям. Для того чтобы в последующем содержание этих химических элементов начало угрожать развитию жизни, оно должно быть чрезвычайно высоким – превышать максимальные кларки элементов магматических пород в количествах, соответствующих их разбросу, т. е. в сотни и тысячи раз. Естественно, что, для того чтобы такие изменения вызвали мутацию или вымирание определенных видов организмов, они должны охватывать большие территории, а не ограничиваться отдельными рудными телами. В природе подобные явления пока не были установлены.

Как уже указывалось, величины кларковых содержаний, особенно для малораспространенных элементов, постоянно уточняются разными исследователями. Если взять кларковые содержания элементов для магматических пород по данным А. П. Виноградова, то в зависимости от значения C_{max}/C_{min} получим такой ряд: Th (3600), U (1944), Ba (830), Ni (250), K (111), Rb (100), Sr (80), Gr (80), Mg (46), Co (40).

По сравнению с ранее приведенными, отмечаются лишь незначительные изменения: из «старого» ряда вышли лантаноиды (их кларки продолжают уточняться), а несколько элементов изменили свое место в группе. Это является одним из подтверждений правильности выводов о рассматриваемом явлении.

К элементам третьей группы с минимальным разбросом кларковых содержаний в различных типах магматических пород от-

несены следующие (см. табл. 3.2): Se (1), J (1), S (1), Bi (1,43), Au (1,5), Ge (1,5), Si (1,69), Hg (1,8), As (2). Поскольку только три первых элемента в ряду относятся к собственно аномальным в рассматриваемой выборке, то можно предположить, что уточнение кларков внесет некоторые изменения в третью группу элементов. Если взять отношение кларков C_{max}/C_{min} по Виноградову, то из рассматриваемой группы должны «уйти» Bi и Hg с отношениями, соответственно равными 10 и 8, что существенно ниже фоновой величины отношения кларков (она равна 13).

Интересно, что элементы, отнесенные к первой и третьей группам, довольно четко разделяются по ряду геохимических показателей (что само по себе не может быть просто случайностью), а особенно по величинам электроотрицательностей и потенциалов ионизации (рис. 3.6).

Таким образом, жизнь, начавшаяся на магматических породах Земли, должна быть ориентированной на очень небольшие колебания химических элементов третьей группы. Первые мутации организмов, обусловленные изменением геохимической обстановки в отдельных регионах, вероятнее всего, происходили при изменении кларковых содержаний в осадочных породах элементов именно этой группы или элементов с близкими к ним значениями отношения C_{max}/C_{min}. Удаленность от «линии жизни» при этом могла не играть решающей роли.

Осадочные горные породы. Химические элементы, составляющие магматические горные породы (их минералы), попав в приповерхностные условия (в биосферу), стали «приспосабливаться» к новым внешним факторам перемещения и концентрации. Начались процессы выветривания минералов магматических пород.

Если рассматривать общую схему приспосабливаемости и поведения минералов, попавших в поверхностные оболочки Земли, то в первую очередь следует отметить дробление горных пород (минералов), ведущее к увеличению их дисперсности. Это способствует ускорению реакции растворения минералов, сорбции и других поверхностных процессов.

При дроблении до коллоидных размеров песчинки кубической формы объемом 1 мм^3 суммарная поверхность образовавшихся частиц увеличивается в 60 тыс. раз. Скорость растворения гипса ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) при дроблении от 0,5 до 0,1 мкм увеличивается с 4 до 12 %, а барита ($BaSO_4$) до 80 % (Перельман, 1989).

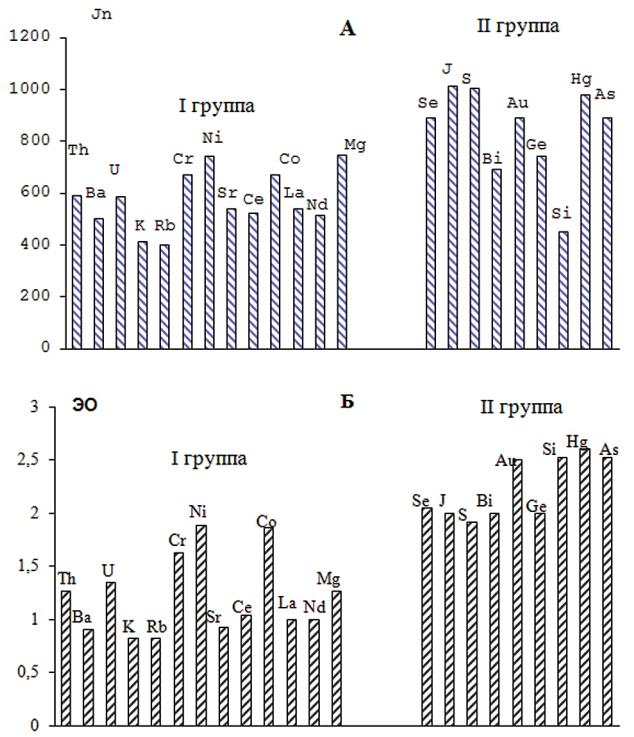


Рис. 3.6. Величины электроотрицательности, по Полингу (А) и энергия ионизации (кДж/моль) у элементов с максимальным и минимальным разбросом кларков магматических пород (Б)

Таким образом, дробление пород способствует образованию истинных и коллоидных растворов, обособлению частиц с различной удельной массой, выделению растворов и газов из включений в минералах. При этом химические элементы, находившиеся в минеральной форме, начинают переходить минимум в три новые формы нахождения. Миграция в каждой из них подчиняется своим законам, так же как и последующая концентрация хими-

ческих элементов (их соединений) на различных геохимических барьерах. В конечном счете многие химические элементы, ранее находившиеся вместе, концентрируются порознь в различных осадочных породах, а иногда и в разных частях биосферы. В процессе миграции, от материнских магматических пород до осадочных, значительная часть химических элементов может продолжительное время находиться в корах выветривания, почвах, илах, водах, атмосфере и, конечно же, в организмах, куда они попадают из всех этих образований.

На континентах основными твердыми природными образованиями, служащими источниками химических элементов для организмов со времени появления осадочных пород, являлись сами осадочные породы, магматические породы и почвы. Важнейшие показатели геохимических условий существования жизни, изменившихся к этому времени на континентах, – кларковые содержания химических элементов различных типов горных пород и почв, а также доступность этих элементов для организмов.

Доступность химических элементов, слагающих минералы различных типов горных пород, организмам определяется в первую очередь устойчивостью кристаллических решеток минералов в условиях биосферы. Устойчивость решеток во многом определяется их энергией, типом химической связи, значениями энергетических коэффициентов (ЭК), ионными радиусами и валентностями элементов, образующих эти решетки. Кроме того, нужно учитывать, что в условиях биосферы преобладает окислительная обстановка и большая часть минералов, образовавшихся в восстановительных обстановках магматических процессов, становится неустойчивой в присутствии свободного кислорода и воды.

Рассматривая кларки различных типов магматических и осадочных горных пород, а также почв, следует в первую очередь обращать внимание на то, увеличился ли с появлением осадочных пород абсолютный разброс кларковых содержаний одних и тех же элементов для различных типов горных пород, слагающих поверхность континентов (C_{max}/C_{min}). При увеличении абсолютного разброса необходимо также установить, во сколько раз он стал больше абсолютного разброса кларков этих же элементов при существовании только магматических пород. Для этого

величину абсолютного разброса кларков в породах континентов (с учетом основных типов осадочных пород) следует разделить на величину абсолютного разброса кларков в магматических породах. Полученное значение названо *относительным разбросом кларковых содержаний* (Алексеенко В. А.).

Чем больше относительный разброс кларковых содержаний элементов на континентах, тем большее геохимическое воздействие эти элементы могли оказать на развитие и возможную мутацию живых организмов, проживающих на континентах. Конечно же, при этом следует учитывать, какие это элементы – легкие или тяжелые – и как далеко они располагаются в таблице Менделеева от «линии жизни» (рис. 1.6).

Сравнивая между собой распределение кларковых содержаний химических элементов в магматических и осадочных породах, можно отметить, что в подавляющем большинстве случаев для осадочных пород характерны или максимальные, или минимальные их значения. Для части элементов (Al, As, Cs, Hg, Mo, S, Sb, Si, Sn) и те, и другие значения кларков приурочены не к магматическим, а к осадочным породам (см. табл. 3.1). Следовательно, с появлением осадочных пород значительно увеличилась дисперсия средних содержаний элементов в таких крупных природных образованиях, как горные породы различных типов, слагающие большую часть поверхности континентов.

Величина абсолютного разброса отношения $C_{max}/C_{min} > 100$ в осадочных породах стала характерной для 16 элементов. К тринадцати, ранее выявленным для магматических пород, добавились Li (132), Na (101) и N (166). С отношением менее $C_{max}/C_{min} < 2$ остался один элемент – Bi, а с $C_{max}/C_{min} < 10$ – шесть элементов: Bi (1,43), W (3,67), Au (6), Br (6,2), P (6,47), Zn (8,67). Без учета почв, для которых кларк ряда химических элементов будет уточняться, к этой же группе следует отнести Ag (2,9), J (4), Be (6). И если в магматических породах число элементов, для которых абсолютный разброс был меньше 10, превышало 30, то с образованием осадочных пород их число сократилось почти в 4 раза.

На развитие организмов в период выхода на поверхность континентов осадочных пород наибольшее влияние должны были оказать элементы с разбросом, резко возросшим по сравнению

с тем, который характеризовал магматические породы. Для выделения этих элементов устанавливался относительный разброс содержаний. Как видно из табл. 3.2, относительный разброс больше 10 установлен для следующих элементов в породах континента (в скобках приведены значения относительного разброса): Nb (32), Ta (20), N (20)*, Hg (7,2)*, S (12), Se (12)*, B (10), Co (10), J (10).

Наибольший разброс кларков горных пород на континенте хотя и характерен для тяжелых элементов – Ta и Nb (с атомной массой, соответственно равной 92 и 180), удаленных от «линии жизни», но он связан не с увеличением концентрации этих металлов в осадочных породах, а с существенным уменьшением их средних содержаний в карбонатных породах по сравнению с магматическими. Аналогичная картина уменьшения концентрации при образовании осадочных пород характеризует и распределение в преобладающих породах континента Co. Однако следует отметить, что Co, в отличие от Ta и Nb, располагается практически на «линии жизни» и уменьшение его концентраций в карбонатных породах вполне могло стать более вероятной причиной мутации отдельных видов живых организмов, чем изменение кларков Ta и Nb.

Раздельная концентрация ртути в глинах и глинистых сланцах, с одной стороны, и в песчинках и карбонатных породах, с другой стороны, привела к тому, что абсолютный разброс кларкового содержания ртути в породах континента увеличился с 1,8 до 13 (в магматических породах). Если же учесть и кларк почв (по А. П. Виноградову), то он станет равным 22. Увеличение средних содержаний тяжелой и удаленной от «линии жизни» ртути в глинах и глинистых сланцах (на их долю приходится около 1/2 массы осадочных пород) в 5 раз, по сравнению с кларком земной коры и в 13 раз, по сравнению с песчаниками, вполне могло сказаться на развитии живых организмов на территориях, перекрытых глинистыми образованиями. Из-за возросшей концентрации S и Se в глинах и глинистых сланцах довольно существенно увеличился (в 12 раз, а с учетом почв – в 60 раз) разброс содержаний этих элементов в породах континента. Оба они, так же как и ртуть, входили в третью группу элементов с минимальным разбросом средних содержаний в различных типах магматических пород. Резкое возрастание с появлением осадочных пород относительного и абсолютного разбросов сразу трех элементов из этой группы не могло не сказаться на развитии живых организмов на континентах.

* С учетом почв (по А. П. Виноградову) относительный разброс станет равным: для Hg – 22, N – 33, Se – 60.

В глинах и глинистых сланцах существенно повышены кларковые содержания еще двух элементов (N и B) из отличающихся наибольшим относительным разбросом в породах континентов (по сравнению с магматическими породами B – в 33 раза, N – в 100 раз). Несомненно, что это также должно было сказаться на развитии жизни в пределах континентов.

Все изложенное дает возможность считать, что *наибольшее изменение геохимической обстановки произошло с формированием осадочных глинистых пород*. Их широкое распространение на континентах позволяет предполагать, что образование глинистых пород могло стать причиной мутаций и вымирания отдельных видов живых организмов. Наибольшее влияние на этот процесс в итоге могли оказать Hg, S, Se, N и B.

Более подробно об абсолютном (АР) и относительном (ОР) разбросах химических элементов можно прочесть в книгах В. А. Алексеенко «Экологическая геохимия» (2000) и «Эколого-геохимические изменения в биосфере. Развитие, оценка» (2006).

3.3. ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В БИОГЕННЫХ СИСТЕМАХ

3.3.1. Общие сведения

Совокупность всех живых организмов, по определению В. И. Вернадского, составляет *живое вещество биосферы*. Эта очень сложная биогенная система разделяется на целый ряд меньших биогенных систем. Чаще всего среди них выделяют *бесклеточное живое вещество (вирусы), бактерии, растения, грибы, животные*. В свою очередь, каждая из перечисленных систем также подразделяется на меньшие геохимические систе-

мы. Все они, даже самые мелкие, весьма существенно отличаются друг от друга в том числе и по биогеохимическим особенностям.

Изучением живого вещества планеты занимаются многочисленные исследователи, оно является основой многих наук. И все же к настоящему времени в составе, в жизни и развитии организмов неясного гораздо больше, чем изученного и объясненного. Однако, несмотря на это, все живое вещество, по В. И. Вернадскому, имеет и ряд общих специфических особенностей. К ним, в первую очередь, следует относить следующие:

• Живое вещество биосферы характеризуется огромнейшей свободной энергией. В неорганическом мире сопоставимыми с ним могут быть только незастывшие лавовые потоки, но последние, очень быстро остывая, теряют ее.

• В живом веществе скорость протекания химических реакций в тысячи (а иногда в миллионы) раз выше, чем в неживом. При этом незначительные начальные порции масс и энергии могут вызвать переработку гораздо больших масс и энергий. Так, определенные виды гусениц перерабатывают в сутки в 200 раз больше пищи, чем составляет их собственная масса.

• Основные химические соединения, определяющие состав живого вещества (белки, ферменты и др.), устойчивы в природных условиях только в живых организмах.

• Для живых организмов характерны две формы движения: пассивная, определяемая их ростом и размножением, и активная, осуществляемая за счет направленного перемещения. Эти формы были выделены В. И. Вернадским. Первая из них характерна для всех организмов, вторая – в основном для животных.

Особенностью пассивного движения организмов является стремление заполнить большинство пространства. В. И. Вернадский назвал этот процесс *давлением жизни*. Его сила (т. е. скорость размножения) в целом обратно пропорциональна размерам организмов. Очень большим давлением обладают бактерии, вирусы, грибы. У отдельных видов бактерий новое пополнение образуется через 22–23 мин. При отсутствии преград к размножению они немногим больше чем за сутки заняли бы всю поверхность Земли. В этих же условиях гриб дождевик (каждый

экземпляр дает около 7,5 млрд спор) уже во втором поколении имел бы объем, в 800 раз превышающий размеры нашей планеты. Слонам же для заселения поверхности Земли потребуется более 1000 лет. Рассмотренной особенностью пассивного движения организмов объясняется быстрое распространение эпидемий, вызываемых бактериями и вирусами.

Движение второй формы происходит за счет собственного перемещения организмов. У раздельнополых оно осуществляется самками, приносящими потомство в новых районах.

• Для организмов характерно гораздо большее морфологическое и химическое разнообразие, чем для неживой природы. Говоря о разнообразии размеров и морфологии, достаточно привести пример сравнения вируса со слоном или китом. Их размеры отличаются в миллиарды раз. Рассматривая химический состав живого вещества, необходимо отметить, что его определяют более 2 млн различных органических соединений. Вспомним, что количество природных минералов составляет всего около 4 тысяч, т. е. во много раз меньше.

• Тела живых организмов могут состоять из веществ, находящихся одновременно в трех фазовых состояниях, и, несмотря на это, представлять единое целое.

• При огромном разнообразии химического состава организмов они построены в основном из белков, содержащих одни и те же аминокислоты. Передача наследственной информации ведется у них по одному пути (ДНК–РНК–белок) с использованием одного генетического кода.

• Нормальное развитие организмов в природе возможно только в их сообществе с другими организмами (биоценоз).

• Живое вещество существует лишь в форме непрерывного чередования поколений. Поэтому оно генетически связано с организмами прошлых геологических эпох.

• Со сменой поколений идет и эволюция живого вещества. Как правило, этот процесс наиболее характерен для высших организмов, а чем примитивнее организм, тем он более консервативен.

Отметим также, что у живых организмов может быть ось симметрии пятого порядка, не встречающаяся у минералов.

3.3.2. Распространенность

Отдельные геохимические системы, составляющие живое вещество, как уже указывалось, весьма существенно отличаются одна от другой еще и по составу, и по размерам, т. е. по массе, которую обычно выражают в процентах от общей массы живого вещества. Зоомасса, по сравнению с фитомассой, ничтожна, а среди растений на суше резко преобладают деревья. Следовательно, данные о среднем содержании химических элементов в живом веществе представляют собой в основном сведения о среднем содержании элементов в древесине. Первые расчеты средних содержаний химических элементов в живом веществе **(кларк живого вещества)** были сделаны В. И. Вернадским. Позже такие данные были опубликованы А. П. Виноградовым (табл. 3.3) и уточнялись многими исследователями.

Имеющиеся данные о средних содержаниях химических элементов в живом веществе использовались для установления общебиосферных (планетарных) закономерностей (Перельман, 1998; Алексеенко, 1997, 2006, 2010 и др.)

Так как кларки земной коры контролировали раньше и контролируют сейчас химические (геохимические) особенности среды, в которой возникло и развивается живое вещество, то они должны были оказать влияние и на состав самого живого вещества. Специально проведенные исследования этого вопроса позволили (Алексеенко, 1997) сделать ряд выводов:

1. *Неравномерность* распространенности химических элементов в земной коре (табл. 3.1, 3.2) в *еще большей мере стала характерна для организмов*. Так, если в земной коре на долю восьми наиболее распространенных элементов (O, Si, Al, Fe, Ca, Mg, K, Na) приходится 98 % ее массы, то в живом веществе уже только три элемента (O, C, H) составляют 98,5 % массы организмов. На долю всех остальных элементов в последнем случае остается лишь около 1,5 % массы живого вещества.

2. «Ведущим» химическим элементом в организмах (70 % массы), так же как и в земной коре (47 % массы), является кислород.

3. В живом веществе, как и в земной коре, четноатомные элементы существенно преобладают над нечетноатомными.

4. *Основу живого вещества* (как и земной коры) *составляют элементы, доминирующий изотоп которых построен по типу* 4n (^{12}C, ^{16}O, ^{24}Mg, ^{28}Si, ^{32}S, ^{40}Ca, ^{56}Fe).

5. В обеих рассматриваемых системах четко *наблюдается значительное преобладание более легких химических элементов*.

Таблица 3.3.

Средний состав живого вещества, %
(по А. П. Виноградову, 1954)

Table 3.3

The average composition of living matter, %
(after A.P. Vinogradov, 1954)

Элемент	Среднее содержание в % на живой вес	Элемент	Среднее содержание в % на живой вес	Элемент	Среднее содержание в % на живой вес	Элемент	Среднее содержание в % на живой вес
Al	$5\cdot10^{-3}$	Cu	$2\cdot10^{-4}$	Mo	$1\cdot10^{-5}$	Se	$< 10^{-6}$
As	$3\cdot10^{-5}$	F	$5\cdot10^{-4}$	N	$3\cdot10^{-1}$	Si	$2\cdot10^{-1}$
B	$1\cdot10^{-3}$	Fe	$1\cdot10^{-2}$	Na	$2\cdot10^{-2}$	Sn	$5\cdot10^{-5}$
Ba	$3\cdot10^{-3}$	Ge	$n\cdot10^{-4}$	Ni	$5\cdot10^{-5}$	Sr	$2\cdot10^{-3}$
Br	$1{,}5\cdot10^{-4}$	H	10,5	O	70	Ti	$8\cdot10^{-4}$
C	18	Hg	$n\cdot10^{-7}$	P	$7\cdot10^{-2}$	Tr	$n\cdot10^{-3}$
Ca	$5\cdot10^{-1}$	K	$3\cdot10^{-1}$	Pb	$5\cdot10^{-5}$	U	$< 10^{-6}$
Cl	$2\cdot10^{-2}$	Li	$1\cdot10^{-5}$	Ra	$n\cdot10^{-12}$	V	$n\cdot10^{-4}$
Co	$2\cdot10^{-5}$	Mg	$4\cdot10^{-2}$	Rb	$5\cdot10^{-4}$	Y	$1\cdot10^{-5}$
Cr	$n\cdot10^{-4}$	Mn	$1\cdot10^{-3}$	S	$5\cdot10^{-2}$	Zn	$5\cdot10^{-4}$
Cs	$1\cdot10^{-5}$						

Однако *в распространенности элементов в земной коре и в живом веществе есть и определенные отличия.* В значительной мере они могут быть обусловлены влиянием химического состава среды обитания на содержание химических элементов в организмах и механизмом поглощения элементов этими организмами. Это позволяет к сделанным выводам добавить следующие.

6. Элементы – *воздушные мигранты* (в классификации элементов А. И. Перельмана по особенностям гипергенной миграции в эту группу кроме инертных газов входят O, H, C, N, I) *в живом веществе составляют свыше 98 % его массы, а в земной коре – меньше 50 %.*

7. *Среди элементов – водных мигрантов* (по классификации А. И. Перельмана) *в организмах преобладают подвижные*. На их долю приходится 0,7 %, а на долю малоподвижных – около 0,5 %. В земной коре преобладают слабо- и малоподвижные, составляя свыше 44 %. На долю подвижных в земной коре приходится всего около 8 %, что составляет менее 1/5 от числа слабоподвижных.

8. Обособленные в земной коре *такие формы нахождения элементов, как минеральная, водные растворы, газовые смеси, коллоидная и сорбированная, в живом веществе часто образуют единый организм* с одной общей (биогенной) формой нахождения.

Так, в высших растениях, составляющих основу живого вещества, подавляющее большинство химических элементов образуют самые разнообразные *органические соединения*. Именно они и составляют основу живого вещества. Однако большинство катионов поступает в растения в форме *природных растворов*. В процессе жизнедеятельности (в первую очередь, в результате фотосинтеза) в растениях образуются *газы*, выделяющиеся в окружающую их среду. Из *минералов* в растениях наиболее часто отмечаются $CaCO_3$ и $SiO_2 \cdot aq$. Присутствие опала ($SiO_2 \cdot aq$) предполагает наличие в растениях *коллоидных растворов*, а значит, и *сорбированной формы* нахождения элементов.

В еще больших количествах минералы, газы и растворы находятся в животных организмах, в том числе в человеческом.

9. Возраставшая со временем неравномерность распределения химических элементов в верхних частях земной коры (во многом связанная с образованием осадочных пород) в большей мере сказалась не на неравномерности распределения элементов в определенном виде организмов, а *на неравномерности распределения самих организмов.*

Следует особо отметить, *что определенные виды организмов* (наиболее изучены растения, а объясняется это развитием во второй половине прошлого века геоботанических и биогеохимических методов поисков месторождений полезных ископаемых) *получили широкое развитие, во-первых, только над определенными типами горных пород, а во-вторых – над месторождениями, т. е. над горными породами с резко повышенными содержаниями одного или нескольких химических элементов.* Объяснить это явление можно в основном биохимическими особенностями различных организмов и, соответственно, их реакцией на изменение эколого-геохимической обстановки, которая в указанных случаях может рассматриваться как аномальная.

В первом случае растительные организмы реагируют на незначительно изменившееся содержание (см. табл. 3.1) многих элементов (в результате этого могут изменяться и щелочно-кислотные особенности почв). Такие изменения происходят на довольно больших площадях. Вызываемая суммарным воздействием этих изменений смена растительных сообществ указывает на смену горных пород даже при большой мощности перекрывающих рыхлых образований. Как один из примеров использования этого явления можно привести выделение траппов в Иркутской области по данным геоботанического картографирования с помощью цветных аэрофотоснимков. Вспомним также, что по появлению нехарактерных растений находил пегматитовые тела А. Е. Ферсман. Вообще же число примеров изменения растительных сообществ при изменении геохимических особенностей горных пород (т. е. при их смене) чрезвычайно велико.

Во втором случае смена растительности, как указывалось, происходит под воздействием резкого повышения содержания только одного или нескольких химических элементов, вызванного их (элементов) неравномерным распределением в земной коре.

Например, при повышенной концентрации Cu в Северной Родезии появляется нехарактерный для региона «медный цветок» (OcunumhombelideWild), в Казахстане – качим Патрена (GyrsohilaPatinii), в Туве – бурачок степной (Alyssummurale) и др. И. И. Гинзбургом (1957), Д. П. Малюгой (1963), Н. Г. Несветайловой (1970), П. В. Ивашовым (1987), В. А.Алексеенко (1973, 2011) и др. приводится целый ряд растений, произрастающих при существенно повышенном содержании определенных химических элементов. Обобщенные данные об этом явлении, представляющие собой своеобразную экологическую аномалию, приведены в табл. 3.4.

Если же определенные растения продолжают существовать в зоне высокого содержания отдельных химических элементов, связанной с неравномерностью распределения этих же элементов в земной коре (ее отдельных частей), то у растений обычно изменяются некоторые морфологические особенности (табл. 3.5). Это также можно считать выражением наличия своеобразной экологической аномалии. Растения реагируют и на значительно пониженные содержания химических элементов в среде произрастания (табл. 3.6).

10. В ряде случаев резко изменяющаяся концентрация элементов в земной коре вызывает многочисленные морфологические изменения организмов, часто закрепляемые в потомстве. Это особенно заметно на месторождениях – в зонах наибольшей концентрации отдельных элементов в литосфере.

Изменения распределения элементов в верхних частях земной коры, а следовательно, морфологические, мутационные и биогеохимические изменения живого вещества обычно происходили постепенно. Однако были и быстрые изменения, как правило, связанные с космическими катастрофами. Отметим, что современные геохимические изменения, происходящие в результате антропогенных процессов, по своей скорости приближаются к катастрофическим.

В последнее время многие исследователи начали определять содержания химических элементов в живом веществе. Чаще всего это производится в продуктах питания, а также в растениях из геохимических ландшафтов, в которых люди находятся большую часть времени или отдыхают. Полученные анализы для установления качества продуктов, или экологического состояния территорий произрастания растений необходимо сравнивать с какими-то эталонными содержаниями. После сравнения можно делать определенные выводы. Кратко рассмотрим два наиболее часто встречающихся вида ошибок в такой работе.

Таблица 3.4

Растения-индикаторы повышенных концентраций определенных химических элементов (их соединений) (по В. А. Алексеенко, 2011)

Table 3.4

The indicator plants of elevated concentrations of certain chemical elements (their compounds) (V. A. Alekseenko, 2011)

Элементы (их соединения)	Семейство	Род и вид	Местное название	Местонахождение
Битумы	Маревые	Anabasis salsa		Район Каспийского
	Маревые	Saisola sp.	Солянка	моря Калифорния
	Лилейные	Allium sp.	Лук	
Бор	Гречишные	Alissus desertorum	Бурачок	Казахстан
	Маревые	Saisola nitraria	Солянка	Казахстан
	Маревые	Eurotinia ceratoides	Эуортия,	Россия
		Salsola herbacea	терескан	Прикаспийская низменность
	Маревые		Солерос	Прикаспийская низменность
		Limonium		
	Синчатковые	subfruticosum	Кермек	
Гипс	Гречишные	Eriogonum inflatum	Эриогонум	Запад США
		Mentzelia sp.		
	Лозовые		Лиатрис	
Железо	Березовые	Betula sp.	Береза	Запад США
	Зверобойные	Clusia rosea	Клюзия	Венесуэла
Золото		Equisetum arvense	Хвощ	Чехословакия
Кальций	Дикорастущие растения	Cypripedium calceolus	Мордовник Башмачок обыкновенный	С-З России

Продолжение табл. 3.4

Элементы (их соединения)	Семейство	Род и вид	Местное название	Местонахождение
Кобальт	Камнеломковые Камнеломковые Камнеломковые	Philadelph us ps. Allissum biovulatum Spirala+Cotoneaster Corotalaria Cobalticola Silene Cobalticola	Чубушник, бурачок двусемянной, таволга и волчья ягода Кротолярия Силена	Россия, Тува Катанга Катанга
Кремний			Иван-чай	С-З России
Медь	Бобовые Гвоздичные Губоцветные Губоцветные Губоцветные Злаковые Мохообразные Маковые Синчатковые Сложноцветные Эфедровые	Loebeia alepecureides Gypsophila polrini Pjlucarpea spirostulis Aerocephlus roberti Elholtzia haichowensis Fesuca sacuta Merceya latifolia Elholtia Mexicana Armeria maritime Lialatella punctata Ephedra distachia Viscaria alpina	Брунец Качим Гвоздика – Эльшоция Типчак Медный мох Калифорнийский мак Эльшоция Армерия Солонечник Эфедра Смолка	Казахстан Россия Австралия Катанга Китай Казахстан Швеция, Монтана, США Аризона, США Шотландия Казахстан Казахстан Норвегия
Молибден и медь	Бобовые	Asnragalus declinatus	Астрагал	Каджаран, Армения

Окончание табл. 3.4

Элементы (их соединения)	Семейство	Род и вид	Местное название	Местонахождение
Никель	 Гречишные Гречишные Гречишные	Alyssum Bertolonii Alyssum murale Asplenium adulterium	 Бурачок Бурачок	 Италия Грузия Норвегия
Свинец	Злаковые	Erianthus giganteus Amorpha canescens	Бородач Аморфа	Теннеси, США США
Селен	Бобовые	Astragalus bisulcatus	Вика ядовитая	Запад США
Селен и уран	Крестоцветные Бобовые Бобовые Бобовые Бобовые Бобовые	Stanleya sp. Astragalus preussi Astragalus sp. Astragalus thompsonae Astragalus pattersoni	Слива Вика ядовитая Гарбанцило Астрагал Астрагал	Запад США Запад США Запад США Анды Юта, США Колорадо, США
Серебро	Гречишные	Eriogonum ovalifodeum	Эриогонум	Монтана, США
Селен, уран и ванадий	Бобовые	Astragalus bisulcatus	Астрагал	Колорадо
Серебро и золото		Lonicera confusa	Жимолость	Квинсленд, Австралия
Свинец и медь	Дикорастущие растения	Agrostis gigantean Roth	Смолевка, овсяница Полевица гигантская	С-З России
Фосфор	Вьюнковые	Convovulus althaeodcs	Вьюнок	Испания

Таблица 3.5

Физиологические и морфологические изменения растений, обусловленные повышенным содержанием ряда химических элементов (их соединений) в среде произрастания (по В. А. Алексеенко, 2011)

Table 3.5

Physiological and morphological changes in plants due to high concentrations of some chemical elements (their compounds) in a medium of growing (V. A. Alekseenko, 2011)

Элементы (их соединения) в почве	Признаки	Растения
1	2	3
Ag	Сильное снижение урожайности, но отсутствуют симптомы токсикоза	Фасоль
Al	При больших количествах отмечались задержка роста, темно-зеленый цвет листьев, пурпурная окраска стеблей, отмирание кончиков листьев, коралловидные и уродливые корневые системы. Короткие шишковатые корни, покоробленные листья, пятнистость	Злаковые культуры
B	Гигантизм и отмирание листьев, корней, а затем и всего растения. Темная листва, более старые листья покороблены по краям, задержание в росте, деформированные, укороченные междоузлия, ползучие формы, сильное опушение, усиленное галлообразование	*
Br	Хлороз	Картофель, шпинат, лук, гвоздика
Cd	Урожай может снижаться, увядают листья, происходят задержка роста растений, повреждение корневой системы, хлороз с образованием красно-бурой окраски прожилков и краев листьев. Повышается предрасположенность к грибковым инвазиям	Бобы, морковь, грибы и др. с/х культуры
Cr	Желтые листья с зелеными прожилками	

Продолжение табл. 3.5

1	2	3
Co	Белые омертвевшие пятна на листьях. Неоднократное появление шишек (семенных сережек), после засыхания шишки второй генерации изменяют цвет. На стволе и ветках появляются бочкообразные вздутия	
Cu	Омертвевшие пятна на кончиках нижних листьев, багровые стебли, хлорозные листья с зелеными прожилками, задержанные в росте корни, у некоторых видов ползучие бесплодные формы	
Fe	Задержание в росте верхушки, утолщенные корни, у водорослей – образование сильно увеличенных клеток в результате нарушения их деления	
Ge	Тормозятся прорастание семян и развитие растений	
HCl	Кустовидная и подушечная формы роста деревьев	
HF (в атмосфере)	Белые, обесцвеченные некрозы верхушек листьев	
Mn	Хлорозные листья, пораженные стебли и черешки, скрученные и сухие участки по краям листьев, деформация пластинки листа, пятнистость листьев	
Mo	Задержка в росте, желто-оранжевая окраска	
Ni	Белые, омертвевшие пятна на листьях, безлепестковые бесплодные формы. У с/х культур – хлороз с желтым окрашиванием переходит в некроз; останавливаются рост корней и появление молодых побегов; иногда происходит деформация отдельных частей растений	с/х культуры
O_3 (озон) в атмосфере	Металлические, серебристые блестящие пятна, сменяющиеся некрозом	
Pb	Омертвение листьев и веток некоторых частей растений, иногда уменьшение размеров листьев деревьев	

Окончание табл. 3.5

1	2	3
SO_2	Укороченные побеги. Покраснение в виде пятен, отмирание листовой пластинки между боковыми жилками первого порядка. Темно-бурые некрозы кончиков хвои. Некрозы околоплодника. Преждевременное увядание листьев. Кустовидная и подушечная формы роста деревьев	
Th	Быстрый рост и необычно крупные листья	
U	Аномальное число хромосом в ядре, плоды необычной формы, безлепестные бесплодные формы, собранные в розетку листья, иногда увеличение размеров плодов	
Zn	Белые хлорозные листья с зелеными прожилками, карликовые формы, омертвевшие пятна на кончиках листьев, задержание в росте корней. Иногда у с/х культур проявляются симптомы недостатка Fe и Mn	с/х культуры
Дым в атмосфере	Изреживание кроны и изменение ствола, побурение или побронзование	
Радиоактив-ность, облучение	Изменение формы, количества и положения органов; перетягивание, вздувание и искривление побегов; сращивание и расщепление отдельных органов	
Хлориды (в атмосфере и почве)	Пожелтение краев или определенных участков листьев. Изменение окраски сменяющееся некрозом. Краевые некрозы четко ограниченных форм	

* Общие закономерности, проявляющиеся у многих растений.

Таблица 3.6

Физиологические и морфологические изменения растений, обусловленные недостаточным содержанием ряда химических элементов в среде произрастания (по В. А. Алексеенко, 2011)

Table 3.6

Physiological and morphological changes in plants due to low concentrations of some chemical elements (their compounds) in a medium of growing (V. A. Alekseenko, 2011)

Химический элемент	Признаки	Растения
1	2	3
B	Верхушечные точки роста и почки отмирают. Развиваются боковые побеги, что придает растениям вид низкорослого куста. Клубни мелкие с трещинами. Коричневая, рыхлая головка, трещины внутри стебля и главного корня; слабое цветение и плодоношение. На плодах некрозные пятна. Снижение урожайности. У злаковых усиливается кущение, задерживается выколашивание, скручиваются листовые пластины, поздно появляются боковые корни; колос пшеницы недоразвит. Уменьшаются стойкость к засухе, скорость процессов фотосинтеза	Картофель, цветная капуста, плодовые
Ca	Разрушаются ткани верхних стеблей, они сгибаются и отмирают. Кончики листьев ослизняются и могут склеиваться. В мякоти клубней появляются бурые участки вблизи пуповины	Однолетние, полевые, кормовые и овощные культуры, картофель
Cl	Увядание листьев, особенно с их краев, преждевременное старение листьев. Появление трещин на поверхности стебля, а на межжилковых участках листьев пятен хлороза	Овощные и плодовые культуры
Co	Низкая активность клубеньков. В листьях снижается содержание хлорофилла, витамина Е, каротиноидов. Хлороз листьев, замедляется рост растений. При содержании в почвах $< 7 \cdot 10^{-4}$ % развитие заболевания «безлепестковая анемона». Уменьшаются засухоустойчивость, темпы роста, биомасса	Наиболее четко проявляется у бобовых

Продолжение табл. 3.6

1	2	3
Cu	Заторможенный рост, искривления и бледная окраска молодых листьев, некроз. При остром дефиците у зерновых колосья и метелки не развиваются, кончики листьев засыхают, у томатов – мелколиственность. У плодовых деревьев суховершинность, мелколиственность; у цитрусовых – мелколиственность и отмирание побегов, размер плодов резко уменьшается	Зерновые, цитрусовые, яблоня, слива, груша
Fe	Верхние листья хлоротичны. Жилки сначала зеленые, позже желтеют (при остром голодании). Пожелтение распространяется на средние и нижние листья. Некрозы бывают редко. Ослаблено образование побегов, слабые побеги могут отмирать	Плодовые, травянистые, цитрусовые
K	Вдоль краев листьев появляется потемнение, позже образуется отмершая ткань – «краевой ожог». Нижние листья ломкие, закрученные книзу, с желтоватой крапчатостью между жилок. Вначале верхушки и края листьев, а позже и все растения приобретают бронзовую окраску. Плоды деформированы с черными пятнами	Хлопчатник, картофель, томат
Mg	Ткани между жилками нижних листьев желтеют, белеют, жилки зеленые. На листьях развивается некроз. Ранний опад заболевших листьев начинается от основания побега	Хлопчатник, плодовые
Mo	Уменьшается листовая пластинка. Хлороз. На нижних листьях появляется крапчатость. Часто листья становятся чашеобразными, продолговатыми, нитевидными, число их уменьшается, иногда образуются розетки	Цветная капуста, овощные
Mn	Хлороз: у томатов и бобовых листья светло-зеленые или желтые (у томатов прожилки зеленые); у столовой свеклы листья темно-красные с фиолетовым оттенком; у огурцов – желтовато-белые. Наблюдается задержка роста, но верхушечные точки роста не отмирают. У плодовых деревьев уменьшение числа листьев, их преждевременный опад, суховершинность	Плодовые, свекла столовая, картофель, капуста, хлопчатник и др.

Окончание табл. 3.6

1	2	3
N	Пожелтение листьев, рост и плодоношение резко ухудшены, стебли и побеги тонкие, деревянистые. Раннее опадание листьев	Кукуруза и некоторые древесные культуры
P	Нижние листья мелкие, темно-зеленые, серовато-зеленые. У некоторых растений нижние поверхности листьев и стебли приобретают пурпурно-красный цвет. Рост заторможен. На клубнях появляются ржаво-желтые пятна	Овощные, картофель
S	Рост замедлен. При остром недостатке – на листьях пятнистость. Пожелтение листьев и жилок. Листья засыхают. Стебли твердые, деревянистые, ненормально удлиненные, веретенообразно скрученные. Корневая система сильно развита	Хлопчатник, картофель, овощные, бобовые, цитрусовые
Zn	У проростков 3–4 лист белый, без хлорофилла, позже верхний лист сухой, а нижние листья желто- бурые. Нижние листья хлоротичны, на средних и верхних – серо-бурые, бронзовые пятна. Молодые листья ненормально мелкие, с желтыми крапинками или все желтые. Рост прекращен рано. Ветвление ослаблено. У плодовых растений отмечается розеточная болезнь. У яблонь, цитрусовых, грецкого ореха – мелколиственность (в 10–20 раз) и розеточность (мелкие листья в виде розеток)	Кукуруза, картофель, овощные и бобовые, плодовые

Во-первых, необходимы эталонные содержания. О недостатках ПДК и различных санитарных норм писалось очень много, и мы не будем повторяться. Отметим только, что нормы установлены лишь для наиболее легко определяемых соединений – для большей группы химических элементов, а тем более находящихся совместно в аномальных концентрациях, таких норм нет. В природе же у организмов в определенных эколого-геохимических ситуациях изменяется содержание сразу у целой группы элементов. Поэтому правильнее всего было бы за «репер» принять *местное* (региональное) кларковое, или фоновое содержание в определенных организмах. Таких содержаний к настоящему времени практически нет. В связи с этим в громадном числе биогеохимических работ сравнение полученных данных проводится или с содержаниями, установленными «на чистых» (как это кажется исследователям) участках, удаленных от предприятий, или с кларками живого вещества.

«Чистые участки» выбираются произвольно. Они крайне малы, но, если определять эталонные содержания на больших площадях, – это будет довольно дорогостоящая работа, равная установлению местных кларковых содержаний. Авторам данного исследования по опыту известны случаи когда «чистый участок» был расположен в пределах геохимической аномалии. Ясно, что сделанные в таких случаях выводы и рекомендации принесли больше вреда, чем их не было бы совсем.

Не меньшие ошибки будут в ряде случаев при сравнении полученных данных с кларковыми содержаниями живого вещества. Как известно, по массе в живом веществе резко преобладают деревья. Поэтому можно представить выводы, полученные, например, при сравнении содержаний химических элементов в помидорах или яблоках, а тем более в различных органах животных, включая человека, с содержаниями этих же элементов в древесине.

Во-вторых, очень часто ошибки возникают при *сравнении* ***с кларками живого вещества*** *содержаний химических элементов в золе растений и животных*, т. е. **в минеральной части живого вещества**. Особенно часто такая ошибка встречается при определении биогеохимических барьеров (фито и зоо) и при установлении коэффициентов биологического поглощения (КБП).

Ошибка связана с тем, что содержание в почве представляет собой содержание элементов, находящихся в минеральной форме, а в растениях содержание представлено или в сухом веществе, или в живом организме, т. е. сравниваются совершенно различные величины. Во избежание этой грубой ошибки необходимо установление **средних (кларковых) содержаний в золе растительных или животных организмов.** Первая наиболее полная сводка средних (кларковых) содержаний химических элементов в золе растений суши была сделана у нас в стране С. М. Ткаличем в 1969 г. (табл. 3.7).

Учитывая все изложенное выше о распространенности химических элементов в живом веществе, считаем, что в биогеохимии одной из первоочередных задач является **определение кларковых содержаний в золе растений и животных**, с последующим их **разделением на кларковые содержания, характеризующие отдельные виды.** Последнее можно считать определенным аналогом кларков горных пород.

Не ясно, меняется ли химический состав живого вещества под все более интенсивным воздействием антропогенной деятельности. В связи с этим, возможно, что кларки живого вещества следует устанавливать **для определенного временного среза.** Это особенно важно **для городской растительности.**

Целесообразным видится и **установление региональных кларков для зоо- и фитоорганизмов.** Пространственными границами для их расчета должны стать границы регионов, выделяемых при установлении региональных кларков для абиогенных систем (горных пород). Вероятно, **региональные кларки живого вещества должны отдельно устанавливаться для водных организмов и организмов суши.** Опыт работы показывает, что величины кларков для этих групп организмов весьма различны.

Таблица 3.7

Средние и наиболее высокие содержания химических элементов в золе растений (по С. М. Ткаличу, 1969)

Table 3.7

The average and the highest concentrations of chemical elements in the plants ash (after S. M. Tkalich, 1969)

Химический элемент	Среднее содержание в золе растений, % (C_p)	Известное наиболее высокое содержание элемента в золе растений (C_a)		
		Название растения, органа	C_a, %	$K_н=c_a/c_p$
Ac	–	Обнаружен в золе гороха (Pisumsativum) и в других растениях	–	–
Ag	$1{,}0\cdot10^{-4}$	Ветки багульника (Ledum palustre)	0,06	600
Al	1,4	Плаун (Lycopodium aipinum)	27,0	19
Ar	В золе растений отсутствует			
As	$3{,}0\cdot10^{-5}$	Трава в окрестностях металлургического Завода Анаконда	1,5	$5\cdot10^{4}$
Au	$1{,}0\cdot10^{-4}$	Надземные части хвоща (Eguisetumpalustre)	0,06	610
B	$4{,}0\cdot10^{-2}$	Надземные органы рододендрона (Rhododendrondahurica)	1,8	45
Ba	$1{,}0\cdot10^{-2}$	Различные растения, обитающие на почвах, обогащенных баритом	5,0	500
Be	$2{,}1\cdot10^{-4}$	Зерна пшеницы (Triticum sp.)	2,0	957
Bi	$5\cdot10^{-8}$	Растения на одном полиметаллическом месторождении	0,01	$2\cdot10^{5}$
Br	$1{,}5\cdot10^{-2}$	Некоторые водоросли	1,0	67
C	Органоген. Зольным элементом не считается, но присутствует в золе растений в составе карбонатов	–	–	–
Ca	3,0	Древесина бука (Fagus silvatica)	32,0	11
Cd	$1{,}0\cdot10^{-6}$	Растения на одном полиметаллическом месторождении	0,01	$1\cdot10^{4}$

Продолжение табл. 3.7

Химический элемент	Среднее содержание в золе растений, % (C_p)	Известное наиболее высокое содержание элемента в золе растений (C_a)		
		Название растения, органа	C_a, %	$K_н=c_a/c_p$
Cl	1,0	Астра (Asteramelus)	49,0	49
Co	$1{,}5\cdot10^{-3}$	Колючелистник (Acanthophyllum sp.)	0,1	93
Cr	$2{,}5\cdot10^{-2}$	Ковыль (Stipa sp.)	0,2	8
Cs	$2{,}0\cdot10^{-4}$	Ветки ивы (Salix sp.)	0,10	500
Cu	$2{,}0\cdot10^{-2}$	Надземные части клевера (Trifolium pannonicum)	3,0	150
F	$1{,}0\cdot10^{-3}$	Растения на одном месторождении флюорита	1,0	1000
Fe	1,0	Водяной орех (Trapa natans)	51,3	51
Fr	В золе растений пока не обнаружен	–	–	–
Ga	$5\cdot10^{-3}$	Листья яблони (Malus sibirica)	0,005	1
Ge	$5\cdot10^{-3}$	Хвоя некоторых деревьев	0,02	4
H	Органоген. Зольным элементом не считается, но присутствует в золе растений, например, в составе опала	–	–	–
He	В золе растений отсутствует			
Hf	$5\cdot10^{-7}$	Обнаружен в золе некоторых растений	–	–
Hg	$1{,}0\cdot10^{-7}$	Некоторые водоросли	0,008	$3\cdot10^{4}$
Ir	$5{,}0\cdot10^{-10}$	–	–	–
J	$5{,}0\cdot10^{-2}$	Водоросли (Laminariae)	1,0	200
Jn	$5\cdot10^{-6}$	Обнаружен в золе некоторых растений	–	–
K	3,0	Клубни картофеля (Solanum tuberosum)	49,7	41
Kr	В золе растений отсутствует	–	–	–
Li	$1{,}1\cdot10^{-3}$	Стебли и листья табака (Nikotina tabacum)	0,4	400
Mg	7,0	Древесина бука (Fagus silvatica)	35,6	5
Mn	$7{,}5\cdot10^{-1}$	Листья лавровишни (Padina pavonia)	15,0	20

Продолжение табл. 3.7

Химический элемент	Среднее содержание в золе растений, % ($C_р$)	Известное наиболее высокое содержание элемента в золе растений ($C_а$)		
		Название растения, органа	$C_а$, %	$К_н=c_а/c_р$
Mo	$2{,}0\cdot10^{-3}$	Ветки березы (Betula sp.)	0,2	100
N	Органоген. Зольным элементом не считается	–	–	–
Na	2,0	Стебли и листья астры (Astortrifolium)	31,0	16
Nb	$5\cdot10^{-5}$	Мох (Polytrichum hyperboreum)	0,1	2000
Ne	В золе растений отсутствует	–	–	–
Ni	$5{,}0\cdot10^{-3}$	Бурачок (Alyssum bertolonii)	7,9	1572
O	Органоген. Зольным элементом не считается, но присутствует в золе в составе опала и карбонатов	–	–	–
Os	$5{,}0\cdot10^{-8}$	–	–	–
P	7,0	Зерна кукурузы (Lea Mays)	12,0	2
Pa	В золе растений не обнаружен	–	–	–
Pb	$1\cdot10^{-3}$	«Свинцовые травы» из родов Agrostis и Calamagrostis	3,6	3560
Pd	$5{,}0\cdot10^{-8}$	–	–	–
Po	В золе растений не обнаружен	–	–	–
Pt	$5{,}0\cdot10^{-10}$	Обнаружен в золе некоторых растений	–	–
Ra	$2{,}0\cdot10^{-11}$	Ветки березы (Betula nana)	$3{,}16\cdot10^{-7}$	15800
Rb	$1{,}0\cdot10^{-2}$	Хвоя кедра (Pinus sibirica)	0,8	80
Rn	В золе растений отсутствует	–	–	–
Ru	$5{,}0\cdot10^{-9}$	–	–	–
Rh	$5{,}0\cdot10^{-9}$	–	–	–
Re	$5{,}0\cdot10^{-10}$	Обнаружен в золе некоторых растений	–	–
S	5,0	Зеленчук желтый	6,2	2
Sb	$5\cdot10^{-6}$	Кора лиственницы (Larix dalturica)	0,01	2000

Окончание табл. 3.7

Химический элемент	Среднее содержание в золе растений, % ($C_р$)	Известное наиболее высокое содержание элемента в золе растений ($C_а$)		
		Название растения, органа	$C_а$, %	$К_н=c_а/c_р$
Sc	$9{,}0\cdot10^{-6}$	Веточки с листьями брусники (Vacciniumvitisidaea)	0,001	111
Se	$5{,}0\cdot10^{-5}$	Астрагал (Astragalus racemosus)	1,5	$3\cdot10^{4}$
Si	15,0	Хвощ (Eguisetum palustre)	40,0	3
Sn	$5\cdot10^{-4}$	Растения на одном полиметаллическом месторождении	0,05	100
Sr	$3{,}0\cdot10^{-3}$	Надземные части клевера (Trifoliumsp.)	10,0	333
Ta	$5\cdot10^{-7}$	Вейник (Calamagrostis)	0,02	$4\cdot10^{4}$
Th	$5\cdot10^{-5}$	Ветка и листья осины (Populustremula)	0,1	2000
Ti	0,10	Мята (Mentha arvense)	3,7	37
Tc	В золе растений не обнаружен	–	–	–
Tl	$5\cdot10^{-7}$	Мох кукушкин лён (Polytrichum hyperboreum)	0,001	2000
Tr	$1{,}0\cdot10^{-2}$	Американский орех гикори	4,0	460
U	$5\cdot10^{-5}$	Корни Sarcolatus vermiculatus	0,7	14800
W	$5{,}0\cdot10^{-7}$	Растения на вольфрамовом месторождении	0,1	$2\cdot10^{5}$
Xe	В золе растений отсутствует	–	–	–
Y	$1{,}0\cdot10^{-4}$	Мох (вид не определен)	0,03	300
Zn	$9{,}0\cdot10^{-2}$	Надземные части ярутки (Thlaspi calaminare)	21,3	236
Zr	$5\cdot10^{-4}$	Кора сосны (Pinus silvestris)	0,02	40

3.3.3. Распределение

Концентрация химических элементов в растениях, составляющих основу живого вещества, зависит от целого ряда факторов, которые несколько условно можно объединить в три большие группы (Алексеенко, 2006):

1) внутренние, кристаллохимические, определяемые свойствами ионов, входящих в состав растений и животных;

2) внешние, ландшафтно-геохимические, определяемые условиями среды обитания (произрастания) организмов;

3) внутренние, биохимические, определяемые биохимическими особенностями конкретного вида организмов.

Внутренние, кристаллохимические факторы определяются особенностями ионов, поглощаемых элементов. Они постоянны для каждого иона и не оказывают существенного влияния на пространственное планетарное и региональное распределение химических элементов в живом веществе Земли.

Факторы, определяемые условиями среды обитания, до последнего времени были связаны с природной геохимической (ландшафтно-геохимической) обстановкой. В конечном счете они, в основном, отвечали распространенности химических элементов в абиогенных геохимических системах. В связи с этим можно априори выделить как составные части биогенных систем участки с различной концентрацией элементов, соответствующие ранее указанным геохимическим провинциям. Данных о содержаниях химических элементов в живом веществе отдельных геохимических провинций пока чрезвычайно мало, а они позволили бы достоверно говорить **о региональных кларках живого вещества и о его кларках концентрации**.

В связи с развитием техногенеза условия среды обитания (произрастания) организмов, а следовательно, и концентрации ими химических элементов стали очень во многом и на больших территориях зависеть от антропогенной деятельности. Учитывая это, необходимо определение **кларков живого вещества в важнейших техногенных геохимических ландшафтах**. К ним, в первую очередь, следует отнести **селитебные и сельскохозяйственные ландшафты**.

Особо следует отметить, что существенное изменение содержаний химических элементов в среде произрастания растений сначала вызывает изменение содержаний химических элементов в растениях (часто оно сопровождается определенными геоботаническими изменениями). В дальнейшем изменения содержаний элементов в среде произрастания приводят не к особым изменениям концентраций элементов в растениях, а к исчезновению одних видов и распространению других (Алексеенко, 2011).

Под влиянием факторов третьей группы концентрация химических элементов в организмах во многом определяется их видом, опробуемой частью, фазой развития и возрастом, а также биологическими закономерностями связи между химическими элементами в конкретных организмах и наличием у них биологического барьера накопления определенных химических элементов.

Все кратко изложенное о биогенных системах указывает на чрезвычайную сложность установления кларков живого вещества, а следовательно, и выявление закономерностей распределения в нем химических элементов и, в первую очередь, их абсолютного разброса.

Еще раз отметим, что особо важным нам кажется установление кларковых содержаний химических элементов в золе основных (наиболее распространенных) видов растительности населенных пунктов, дикорастущих растений и сельскохозяйственных культур.

3.4. ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В БИОКОСНЫХ СИСТЕМАХ

3.4.1. Общие сведения

Как уже указывалось, к биокосным относятся геохимические системы, в которых живые организмы и неорганическая материя (косное вещество) неразрывно связаны между собой. Для них (косного и живого вещества) характерны взаимопроникновение и взаимообусловленность, вместе они составляют единое целое. Выделение первых биокосных систем (ими были почвы) связано с работами В. В. Докучаева. Дальнейшее развитие учения об этих системах продолжил его ученик – В. И. Вернадский.

Крупнейшей биокосной системой является вся биосфера, а ее основными и самыми большими биокосными составляющими – атмосфера, гидросфера и педосфера (почвенный слой Земли), которые, в свою очередь, состоят из систем меньшего уровня организации.

Для биокосных систем характерно сочетание биогенной, физико-химической и механической миграций. Это определило наличие у них ряда общих черт. Как отметил А. И. Перельман, «в биокосных системах литосферы происходит взаимодействие горных пород с природными водами в близких термодинамических условиях». Это вызывает появление общих особенностей физико-химической миграции веществ, в частности, в таких системах развиваются и выветривание, и цементация. Все биокосные системы характеризуются наличием свободной энергии, неравновесностью и т. д.

3.4.2. Атмосфера

Атмосфера – газообразная оболочка Земли, состоящая из смеси различных газов, водяных паров, пыли и различных микроорганизмов. В табл. 3.8 приведен приблизительный состав атмосферы, довольно быстро изменяющийся в пространстве и времени. Если раньше его значительные изменения были в основном связаны с меняющейся интенсивностью вулканической деятельности, особенностями биогенного газообразования и скоростью осаждения микроорганизмов и частиц пыли, то в последние десятилетия многие изменения состава атмосферы обусловлены антропогенной деятельностью. Довольно быстрое перемешивание и перемещение газов атмосферы делает весьма проблематичными расчеты региональных кларков атмосферы, хотя ее приземный слой в ряде природных (леса, пустыни и т. д.) и техногенных (селитебные, сельскохозяйственные и т. д.) ландшафтов часто имеет существенные отличия.

Таблица 3.8

Приблизительный состав атмосферы (общая масса $5{,}9 \cdot 10^{15}$ т) (Н.Ф. Реймерс, 1990)

Элементы и газы	Содержание в нижних слоях атмосферы, %	
	По объему	По массе
Азот	78,084	75,5
Кислород	20,946	23,14
Аргон	0,934	1,28
Неон	0,0018	0,0012
Гелий	0,000524	0,00007
Криптон	0,000114	0,0003
Водород	0,00005	0,000005
Углекислый газ (в среднем)	0,034	0,0466
Водяной пар: в полярных широтах	0,2	–
у экватора	2,6	–
Озон: в тропосфере	0,000001	–
в стратосфере	0,001–0,0001	–
Метан	0,00016	0,00009
Окись азота	0,000001	0,0000003
Окись углерода	Тысячные доли, в воздухе городов – до 0,000008	$0{,}000^{0}78$

3.4.3. Гидросфера

Гидросфера – совокупность всех вод Земли. Обычно же, как особую оболочку планеты рассматривают только воды, находящиеся на поверхности Земли (океанические и материковые). Кларковые (средние) содержания химических элементов в морской, речной и в подземной водах приведены в табл. 3.9. Наиболее изменчив в пространстве и во времени состав подземных вод. В последнее время на довольно больших участках он определяется не только природными факторами (в основном составом водовмещающих горных пород), но и влиянием антропогенной деятельности. Техногенное воздействие на изменение кларковых содержаний химических элементов в водах особо существенно в селитебных и промышленных ландшафтах. В случае располо-

жения этих ландшафтов на побережьях морей и океанов антропогенное влияние на состав вод распространяется и на прибрежные аквальные ландшафты. Региональные кларки гидросферы устанавливались крайне редко. При их использовании следует указывать время года и его особенности (дождливое, сухое и т. д.) в период установления кларков. В случае высокой антропогенной нагрузки желательно знать время «обычных» и «залповых» сбросов промышленных вод различной степени очистки.

3.4.4. Педосфера

3.4.4.1. Общие сведения

Почвы представляют собой верхний горизонт литосферы с явным проявлением биологического круговорота химических элементов. А. И. Перельман относил почвы к области наивысшей геохимической энергии живого вещества. Основатель учения о геохимических ландшафтах, виднейший почвовед Б. Б. Полынов при этом отмечал, что в почвах «...создаются многообразные сообщества (биоценозы) и формируются новые виды многочисленных низших организмов и высших растений». Организмы, большое значение которых в формировании почв отмечалось многими исследователями, оказали огромное влияние и на их (почв) геохимические особенности.

Одним из важнейших геохимических (биогеохимических) процессов, происходящих в почвах, является *разложение органических веществ микроорганизмами*. Интенсивность этого процесса в природных условиях во многом контролируется *климатическими условиями*, достигая максимума во влажных тропиках. В последнее время большое влияние на разложение органических веществ (особенно *в сельскохозяйственных и селитебных ландшафтах*) оказывает *антропогенная деятельность*.

Формирование почвенного профиля с *дифференцированным распределением химических элементов* по вертикали во многом связано с деятельностью живого вещества. Еще в 30-х годах прошлого века один из основателей геохимии – В. М. Гольдшмидт впервые выявил концентрацию в гумусовом горизонте лесных

почв Be, Co, Ni, Zn, Ge, As, Cd, Sn, что связано с *«перекачиванием» растениями элементов из нижних горизонтов в верхние*. Такая картина характерна не только для лесных, но и для других почв, в том числе и в техногенных геохимических ландшафтах. Считается, что этому «перекачиванию» способствует выделение корнями растений H^+ при поглощении катионов и OH^- – при поглощении анионов.

Вертикальной дифференциации элементов в почвах, кроме указанного процесса, способствует *нисходящая сверху миграция водных растворов и связанное с нею выщелачивание*. Различное сочетание процессов биогенной аккумуляции и выщелачивания приводит, в отличающихся конкретных условиях, к формированию в разрезе почвенных горизонтов с особыми физико-химическими (а затем – геохимическими) условиями. При этом в почвах на различных горизонтах часто появляются определенные геохимические барьеры, на которых происходит концентрация отдельных химических элементов (их соединений). Таким образом, процесс образования почв практически всегда приводит к вертикальной дифференциации химических элементов. В результате из однородной горной породы постепенно формируется почвенный профиль с горизонтами, отличающимися по своим геохимическим особенностям. При изучении почв принято выделять «главный горизонт», или «центр почвы», определяющий ее своеобразие в целом. Как правило, таким центром является верхний горизонт **А** (А. И. Перельман). В нем наиболее энергично разлагаются органические вещества и отмечается наибольшее напряжение всех геохимических процессов. Лишь иногда «центром почв» становится какой-либо другой горизонт. Например, в солонцах центром считают солонцовый горизонт **В**.

Геохимическое разнообразие почв во многом объясняется изменяющимися условиями их формирования. Еще В. В. Докучаев стал рассматривать формирование почв как совокупность деятельности таких факторов, изменяющихся в различных частях нашей планеты, как «грунт, климат, растительные и животные организмы, возраст страны и, отчасти, рельеф местности». К указанным пяти факторам со временем добавились еще два: вода (почвенная и грунтовая) и хозяйственная деятельность че-

ловека. С учетом этих добавлений В. В. Добровольский предложил следующую формулу почвообразования:

$$П = f(ПП + РО + ЖО + ЭК + Р + В + ДЧ) \cdot t,$$

где П – почва; f – функция; ПП – почвообразующие породы; РО – растительные организмы; ЖО – животные организмы; ЭК – элементы климата; Р – рельеф; В – вода; ДЧ – деятельность человека; t – время.

Огромное количество вариантов формирования почв, связанное с различной ролью каждого из указанных факторов в пределах конкретных участков, обусловливает и разнообразие геохимических особенностей этих геохимических систем в разных регионах. Этому разнообразию отчасти способствовало и то, что химические элементы, попав в почву, сохраняются в ней продолжительное время, не перемешиваясь и не перемещаясь, как это происходило в таких биокосных системах, как атмосфера и гидросфера.

Однако, несмотря на все отличия почв различных регионов, есть в них и очень много общего, в том числе и с геохимической точки зрения. В первую очередь следует отметить окислительно-восстановительную зональность всех почв.

Установление средних содержаний химических элементов в почвах Земли **(кларков почв)** связано с большими трудностями. Несмотря на это, в начале 50-х годов прошлого века ряд исследователей (А. П. Виноградов, Р. Митчелл, Д. Свайн) проводили такие расчеты. У нас в стране данные А. П. Виноградова (1957) долгое время являлись эталоном среднего содержания химических элементов в почвах Земли. Кларки почв по А. П. Виноградову (табл. 3.1) часто используются при сравнении с почвами отдельных техногенных ландшафтов, что далеко не всегда оправдано.

3.4.4.2. Некоторые геохимические особенности почв

Одной из отличительных геохимических особенностей почв Земли является пространственная неравномерность распространенности химических элементов. Одним из первых ее отметил Р. Митчелл (1955), установивший, что содержание большей части химических элементов в почвах различных районов может различаться в сотни и тысячи раз. Наименьший разброс в этой геохимической системе характерен для таких наиболее распространенных элементов как Si, Al. Их средние содержания в почвах различных регионов обычно изменяются лишь в десятки раз. Распределение многих элементов подчиняется логнормальному закону. В связи с этим для геохимической характеристики почв определенного региона целесообразно использовать фоновые содержания, а при использовании средних содержаний следует указывать их ошибку, желательно с определенной вероятностью. В этом случае можно указывать на отличия средних содержаний рассматриваемых химических элементов в различных регионах с определенной вероятностью. Обычно при большинстве геохимических исследований используется вероятность 95 %.

Конечно же, во многих случаях определяющее влияние на концентрацию элементов в почвах оказывают геохимические и минералого-петрографические особенности почвообразующих горных пород. Следовательно, можно и априори, и опираясь на уже имеющиеся данные, говорить о том, что определенные геохимические провинции отличаются и по геохимическим особенностям почв. Это делает важными определения **кларковых содержаний элементов в почвах отдельных регионов**. Так как такие регионы обычно представляют довольно большие территории, то при расчете региональных кларков химических элементов в почвах роль остальных (кроме горных пород) природных факторов в значительной мере будет нивелирована. В связи с этим ни один из них не будет так влиять на геохимический облик почв, как геолого-геохимические особенности горных пород.

При определении средних содержаний в меньших геохимических системах (например, в отдельных ландшафтах) роль каждого природного фактора, указанного в выше приведенной формуле В. В. Добровольского, может в отдельных случаях стать определяющей для средних содержаний каких-либо элементов.

На средние содержания целого ряда химических элементов в почвах отдельных небольших систем может оказать существенное влияние и такой природный фактор, как содержание

в почвах глинистых минералов и органических веществ, являющихся сорбентами этих элементов.

Влияние природных факторов на геохимический облик почв существует всегда. Однако в *последние десятилетия резко увеличилось воздействие техногенных факторов на содержание в почвах ряда элементов* (в первую очередь, металлов). В определенных условиях процессы техногенеза оказывают большое влияние на концентрацию элементов в почвах даже природных, биогенных ландшафтов. Так, по результатам двух региональных исследований даже в почвах лесных ландшафтов, в основном аграрного Краснодарского края, за 10–15 лет возросло содержание Mn, Ni, Cu, Cr, Pb, это может быть связано с *общей техногенной металлизацией биосферы*.

Естественно, что еще большее воздействие техногенез оказал на концентрацию элементов в почвах техногенных геохимических ландшафтов, особенно сельскохозяйственных, селитебных и промышленных, практически всегда примыкающих к селитебным. В почвах некоторых селитебных ландшафтов среднее содержание ряда металлов часто в несколько раз превышает кларк почв по А. П. Виноградову: Zn в 2–5 раз; Cu – до 5; Ag, Co, Sn – в 2–4 раза; Pb – до 9 раз (Алексеенко, 2006). Даже в относительно «молодых» населенных пунктах Черноморского побережья, с возрастом менее 200 лет, содержание в верхнем тридцатисантиметровом слое почв возросло на площади в 1 км^2 по сравнению с природными ландшафтами, на месте которых возникли селитебные. Расчет показателя абсолютного накопления (**ПАН**), определяющего, какая масса определенного вещества накопилась в конкретной части геохимического ландшафта в результате происшедших процессов на единице площади, дал следующие результаты: содержание Pb возросло в верхнем тридцатисантиметровом слое на 19,8; Zn – на 132,6; Ba – на 288 (все в т/км^2) (Алексеенко, Суворинов, Власова; 2008).

В отдельных промышленных геохимических ландшафтах г. Краснодара встречаются участки с содержанием в почвах Pb в 100 раз выше кларка А. П. Виноградова для почв, в 50 – для Cr, в 25 – для Cu, в 10 – для Zn. В промышленных ландшафтах г. Ростов-на-Дону этот показатель для Pb достигает 300; для Cu – 5, Zn – 200 и т. д. (Алексеенко, 2006).

В почвах сельскохозяйственных ландшафтов Краснодарского края среднее содержание возросло для их различных групп: Cu – до 7 раз; Zn – до 2,8; Pb – до 4,5; Mo – до 2 раз и т. д. (Алексеенко, 2006). При этом в тридцатисантиметровом верхнем горизонте, по расчетам ПАН, накопилось Pb в богарных пашнях в среднем 13,2; Cu во фруктовых садах 38–60; в ореховых плантациях – 4,8; в виноградниках – 77,4 (все в т/км^2).

В почвах сельскохозяйственных ландшафтов Ростовской области за 10–12 лет также увеличилось содержание целого ряда металлов. На пастбищах к ним относятся Cu, Pb, Ag, Ni, V, Cr, Ga, Li. На богарных пашнях – Ag, Pb, Sn, Mo, Ni, Cr, V, Ga; на орошаемых пашнях – Ag, Pb, Sn, Mo, V, Ni, Cr, Ga, Li. В отдельных случаях, например в почвах богарных пашен для Mo, содержание возросло более чем в 2 раза.

Подобная картина характерна для почв и других регионов. Анализируя весь вышеизложенный материал, можно сделать несколько общих выводов и, в первую очередь, о современном геохимическом состоянии почв и его изменениях.

1. За последнее время стала явной металлизация почв в целом ряде регионов. Этот процесс охватил и биогенные (в том числе лесные) и, в наибольшей мере, техногенные геохимические системы (ландшафты).

2. Наибольшие изменения в геохимическом облике почв произошли в техногенных ландшафтах. Особо следует выделить почвы населенных пунктов, отражающие общее экологическое состояние территорий, в пределах которых люди проводят основную часть своей жизни. Значительное внимание следует также уделить почвам сельскохозяйственных ландшафтов, из которых поступают продукты питания.

3. Столь существенные изменения, происходящие в почвах по сравнению с другими биокосными системами такого же уровня, во многом связаны с тем, что почвы являются депонирующей средой и попавшие в них вещества сохраняются продолжительное время, оказывая существенное воздействие на контактирующие с ними биогенные, а также другие биокосные системы.

4. В настоящее время по содержаниям целого ряда химических элементов почвы природных ландшафтов резко отличаются от почв техногенных ландшафтов. Для нормальной жизне-

деятельности людей и устойчивого развития регионов и стран следует обратить особое внимание на такие отличия почв селитебных и сельскохозяйственных ландшафтов.

Для многих практических и научных целей считаем чрезвычайно важной и первоочередной задачей **определение на настоящий временной срез кларков почв селитебных ландшафтов и наиболее распространенных в них видов растений, кларков почв сельскохозяйственных ландшафтов; кларков почв основных природных ландшафтов.**

ГЛАВА IV

ОСОБЕННОСТИ КЛАРКОВ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОЧВ СЕЛИТЕБНЫХ ЛАНДШАФТОВ

4.1. ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Почвы селитебных ландшафтов, являясь одной из составных частей такой крупной геохимической системы, как педосфера, занимают в ней довольно обособленное положение. Объясним это, рассматривая их как самостоятельную геохимическую систему, которая не только испытывает *наибольшую общую техногенную нагрузку*, но и характеризуется *наибольшим техногенным поступлением* в нее целого ряда химических элементов и их *самых разнообразных соединений*.

Почвы селитебных ландшафтов отличаются от многих подобных геохимических систем не только по общему количеству, но и по особенностям *техногенного поступления веществ в повышенных концентрациях*. Эти вещества поступают и непосредственно сразу в почвы, и через атмосферу, и с водными растворами, и с ежегодным опадом городской растительности. Отметим еще такие характернейшие особенности техногенного поступления веществ в почвы населенных пунктов, как вероятное (и частое) *присутствие в этих веществах запрещенных природных ассоциаций* химических элементов и весьма большое количество техногенных соединений, не имеющих природных аналогов. Так, в веществах, поступающих в почву селитебных ландшафтов в существенно повышенных концентрациях, могут одновременно находиться Ni и Ba (отрицательный парагенезис в минерале), Cr и U (отрицательный парагенезис в рудах), Cu и Mn (отрицательный парагенезис в осадочных формациях) и т. д.

Среди *техногенных соединений*, поступающих в существенно повышенных количествах в рассматриваемые почвы, можно выделить следующие три группы (Алексеенко и др., 2003): 1 – соединения, хотя и имеющие природные аналоги, но в таких концентрациях, как в рассматриваемых случаях, практически

не встречающиеся как результат природных процессов; 2 – соединения, не образующиеся в природе в конкретных климатических и ландшафтно-геохимических условиях; 3 – соединения, вообще не имеющие природных аналогов.

Из **соединений первой группы**, наиболее характерных для селитебных ландшафтов, отметим оксиды серы и азота и ряд минеральных удобрений. Влияние *оксидов серы и азота* на биосферу в целом уже рассмотрено многими исследователями довольно подробно во многих сугубо научных и популярных работах. В связи с этим кратко укажем лишь на их воздействие на почвы населенных пунктов. Основное количество рассматриваемых соединений поступает в атмосферу или в городах, или в примыкающих к ним промышленных ландшафтах. Отметим, что источником около 20 % этих соединений, находящихся в биосфере, являются антропогенные процессы, из которых 95 % связано с энергетической промышленностью и транспортом, а около 5 % – с химической промышленностью. Влияние на почвы эти газы оказывают через дожди, снег и городскую растительность. Из атмосферы рассматриваемые оксиды поглощаются облаками и каплями влаги, резко увеличивая ее кислотность. Попадая в почву, эта влага нарушает структуру микрофлоры, сокращает численность беспозвоночных, грибов, мхов, лишайников и, таким образом, нарушает в городских почвах биологические процессы и круговорот элементов, характерные для природных условий. Кислые воды (pH меньше 5,6) переводят в растворимое состояние целый ряд ранее практически нерастворимых соединений, способствуют вымыванию из почв питательных соединений, необходимых для нормального развития городских растений. Кроме того, кислые воды способствуют усилению коррозии у получивших широкое распространение в населенных пунктах чугуна, стали, цветных металлов, которые в результате во все больших количествах поступают в почвы. Под воздействием кислых вод в условиях селитебных ландшафтов во все больших количествах поступают в почвы вещества за счет возрастающего разрушения кож, тканей, синтетических материалов, мрамора и известняка городских построек.

Рассматриваемые оксиды способствуют образованию в атмосфере над городами инверсионного слоя нагретого воздуха, не

дающего выходу нижним слоям. Это приводит к накоплению в атмосфере вторичных загрязнителей, поступающих в итоге в городские почвы.

Кроме того, диоксид серы способствует концентрации в растениях, а затем в почвах целого ряда тяжелых металлов. Так, их существенная концентрация была выявлена даже на городском повышенном фоне в г. Краснодаре около кожевенного завода, где кроме диоксида серы не было установлено влияния каких-либо других факторов на накопление металлов в растениях и в почве.

Значительное количество ряда химических элементов в городских условиях поступает *с удобрениями*. Среди них обычно наиболее распространены азотные, фосфорные, калийные и комбинированные. Отметим, что кроме основных элементов, составляющих каждое из удобрений, вносится с ними и отдельно от них большое количество, так называемых, микроэлементов (B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, Co и др.).

Таким образом, техногенные соединения, даже имеющие широко и практически повсеместно развитые природные аналоги, в городских условиях приводят к изменению концентраций в почвах целого ряда химических элементов, в том числе и за счет нарушения многих биологических процессов.

Среди **техногенных соединений, природные аналоги которых не образуются в данных климатических и ландшафтно-геохимических условиях**, выделим металлы (их сплавы), нефть и нефтепродукты.

Ежегодно из антропогенных источников в среду, окружающую людей, попадает около 450 тыс. т. Pb; 320 тыс. т. Cu, более 7 тыс. т. Cd и других металлов. В последнее десятилетие все больше в техногенные процессы вовлекаются ранее не использовавшиеся элементы, получившие из-за этого название «редких». Наибольшая концентрация самых разнообразных изделий из различных металлов происходит в населенных пунктах и промышленных ландшафтах, где они (изделия) и в большей мере разрушаются, переходя в итоге в городские почвы. По некоторым подсчетам, только за счет коррозии железа его потери составляют около 30 % годового производства, причем 10 % теряется безвозвратно в виде ржавчины. За всю историю

человечество выплавило не менее 35 млрд т сплавов Fe, а мировой фонд на сегодня составляет около 10 млрд т. Значительная часть этой разницы утрачена в результате коррозии и поступила в почвы населенных пунктов. Подобная картина характерна и для многих других металлов.

Довольно большую опасность в настоящее время представляет загрязнение окружающей среды *сырой нефтью и нефтепродуктами*. Причин «нефтяного загрязнения» выделяется несколько. К их числу в пределах населенных пунктов можно отнести стоки химических и нефтеперерабатывающих предприятий; аварии на нефтепроводах; поступление от транспортных средств. Природные углеводороды разлагаются микроорганизмами, однако с масштабами современного техногенного загрязнения нефтепродуктами они (микроорганизмы) часто не в состоянии справиться. В результате в почвах нарушается биологический круговорот элементов, изменяется их концентрация. Почвы селитебных ландшафтов в очень большой мере затронуты этими процессами.

Выделенные в третью группу **техногенные соединения, не имеющие природных аналогов**, также получили широкое развитие в селитебных ландшафтах. Наибольшее распространение в рассматриваемых условиях характерно для синтетических полимеров (каучуки, пластические массы и химические волокна) и для моющих средств.

Более половины мирового производства *каучука* (60–70 %) расходуется на изготовление автомобильных шин, а остальная часть – на резиновые изделия для техники, быта, спорта. Как видно из этого, значительная часть синтетического каучука используется (и изнашивается) в населенных пунктах, попадая в довольно больших количествах в почвы. Разложение синтетического каучука идет довольно медленно, нарушая природный биологический круговорот и концентрацию в почвах не только водорода и углерода, но и многих других элементов.

Пластмассы – это синтетические полимеры, из которых формуют (используя добавки) различные изделия, способные сохранять форму при нагрузках. Они довольно устойчивы к воздействию микроорганизмов. По некоторым оценкам, скорость их разложения не менее 300–400 лет. Попадая в почвы, а это, если не считать свалок, в основном почвы населенных пунктов,

пластмассы, как и другие синтетические полимеры, включая *синтетические волокна*, нарушают биологический круговорот и концентрацию элементов в почвах.

Синтетические моющие средства, попадая в почвы и в почвенные воды (а большая их часть попадает в пределах населенных пунктов), вызывают гибель определенных микроорганизмов. Их биологическая ниша занимается другими организмами. В результате многие процессы миграции и концентрации химических элементов в почвах селитебных ландшафтов отличаются от процессов, происходящих в почвах других геохимических ландшафтов.

Еще одним техногенным фактором, влияющим на содержание химических элементов в почвах селитебных ландшафтов, является завоз в городские парки, клумбы, палисадники и т. д. земли из природных и сельскохозяйственных ландшафтов. Это может приводить к увеличению дисперсии содержаний, а в отдельных случаях – даже к изменению их средних содержаний. Учесть влияние этого фактора можно, установив среднее содержание элементов в населенном пункте и их содержание в почвах заведомо привезенных, или в почвах (также заведомо) не менявшихся. Такие исследования проводились нами.

Однако, кроме техногенных факторов, на процесс миграции и концентрации химических элементов в почвах всех ландшафтов, в том числе и селитебных, постоянно воздействуют и внешние природные факторы. Они изменяются в зависимости от климатических и ряда ландшафтно-геохимических условий. До сих пор не было ясно соотношение этих факторов и, как его результат, влияние этих факторов на концентрацию элементов в почвах селитебных ландшафтов.

Не вполне ясно, и как влияют на содержание химических элементов в почвах селитебных ландшафтов число жителей и наличие определенных предприятий. Мы старались в этой работе, в ее последующих разделах, по возможности, подойти к решению этой сложной и чрезвычайно важной проблемы.

Пока из всего изложенного понятно, что почвы селитебных ландшафтов отличаются по особенностям своего образования и развития от других почв Земли. Важно установить и существующие в настоящее время (начало XXI в.) геохимические раз-

личия между отдельными группами населенных пунктов. Для решения всех этих проблем необходимо, в первую очередь, установить кларковые содержания химических элементов в почвах селитебных ландшафтов в данном временном срезе.

4.2. МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ ПО УСТАНОВЛЕНИЮ КЛАРКОВЫХ СОДЕРЖАНИЙ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ

4.2.1. Общая информация о работах

§ 1.1 Пробы в населенных пунктах отбирались равномерно по всей их территории. При этом авторы старались, чтобы в сумме все пробы из каждого городского ландшафта характеризовали, по возможности, почвы всей территории населенного пункта, в котором они отбирались.

§ 1.2 В ряде так называемых «опорных» населенных пунктов составлялись детальные карты городских геохимических ландшафтов. Число проб почв, отобранных в таких городах, иногда превышало 1000. Это позволяло, во-первых, установить общие закономерности распространенности и распределения химических элементов в почвах различных селитебных ландшафтов, составляющих опробуемый населенный пункт (улиц, дворов, парков, бульваров и т. д.), а, во-вторых, выполнить требования по максимальной равномерности распределения проб в населенном пункте.

§ 1.3 Число проб в подавляющем большинстве населенных пунктов колебалось от 30 до 1000. Пробы отбирались из верхнего тридцатисантиметрового слоя городских почв.

Во всех населенных пунктах, а не только в, так называемых, «опорных» при отборе проб учитывались ландшафтно-геохимические особенности места отбора проб в опробуемом населенном пункте. К ним относятся следующие, учитываемые на различных таксономических уровнях:

1. Особенности, обусловливаемые ведущим (техногенным) видом миграции. На практике это выражалось указанием, по возможности, не только места отбора проб, но также близости от точки отбора проб предприятий (с вероятной конкретизацией

вида их деятельности), улиц, дворов, зон, занятых военными ведомствами, зон рекреации и отдыха, пустырей, кладбищ, карьеров, шахт и рудников, отвалов горных выработок, гаражей, трамвайных и троллейбусных парков, автозаправочных станций, предприятий по переработке мусора, базаров, авто- и железнодорожных вокзалов и станций, аэро-, речных и морских портов. Кроме того, указывалось расположение места отбора проб в городском пространстве (центр, окраина).

2. Особенности сообществ городских растений с указанием их сохранности (суховершинность деревьев, засохшие боковые ветви, хлороз и т. д.)

3. По возможности, такие особенности почв, как окислительная обстановка со свободным кислородом, глеевая и сероводородная обстановки.

4. Геоморфологические особенности места отбора проб (водораздел, верхняя или нижняя часть склона, участок накопления сносимого материала).

5. По возможности, особенности почвоподстилающих пород.

6. Направление преобладающих ветров.

§ 1.4 В ряде населенных пунктов (в некоторых зарубежных, в небольших поселках и хуторах) число проб было несколько меньше 30, однако они отбирались в соответствии с требованиями § 1.1.

§ 1.5 Некоторые населенные пункты (в том числе зарубежные) опробовались на протяжении последних лет до 5 раз. При этом в большинстве случаев пробы отбирались каждый год в одних и тех же местах. Анализ распространенности элементов в этих пробах позволяет сделать определенные выводы об изменении содержаний элементов в селитебных ландшафтах за 5–8 лет. По своей сути такие исследования можно относить к началу глобального геохимического мониторинга почв селитебных ландшафтов. В дальнейшем для установления средних содержаний химических элементов в почвах рассматриваемых населенных пунктов учитывались результаты анализов всех проб, указанных в § 1.5.

§ 1.6 Кроме изучения особенностей распространенности и распределения химических элементов в почвах отдельных селитебных ландшафтов, составляющих один и тот же населен-

ный пункт, в каждом из населенных пунктов устанавливались общие для него статистические параметры распространенности и распределения химических элементов. При этом особое внимание уделялось средним содержаниям элементов, вычисляемым с вероятностью 95 % для всего населенного пункта.

§ 1.7 Для того чтобы избежать ошибок, связанных с неодинаковым числом проб, отобранных в различных населенных пунктах, каждый из них в дальнейшем был представлен одной как бы «усредненной пробой».

Все статистические параметры распространенности и распределения химических элементов в такой «усредненной пробе» устанавливались в соответствии с общими требованиями и с вероятностью 95 %. Таким образом, были учтены природные и техногенные ландшафтно-геохимические особенности каждого населенного пункта.

§ 1.8. Используя «усредненные» литохимические пробы, каждая из которых характеризует отдельный населенный пункт, была составлена выборка, соответствующая содержаниям химических элементов во всех изученных непосредственно нами населенных пунктах Мира.

§ 1.9. Статистическая обработка результатов анализов, представленных в выборке, указанной в § 1.8, дает информацию о распространенности и распределении химических элементов в почвах всех селитебных ландшафтов, изученных непосредственно авторами данного издания.

§ 1.10. Для установления влияния на распространенность химических элементов в почвах населенных пунктов различных природных и антропогенных факторов составлялись отдельные выборки из результатов анализов проб, отобранных в городах с различным числом жителей (около 1 млн и более, 300–700 тыс., 100–300 тыс., менее 100 тыс.), из хуторов и небольших поселков, курортов. Для содержаний всех элементов в этих выборках проводилась стандартная статистическая обработка.

§ 1.11. Отдельно составлялась выборка, каждая проба которой представляла среднее содержание химических элементов в почвах в определенном населенном пункте, изучение которого проводилось другими исследователями. Они и определили это среднее содержание. Средние содержания, вычисленные

в такой выборке, можно рассматривать как средние содержания в почвах населенных пунктов, установленные по литературным данным. Они сравнивались со средними содержаниями, установленными нашими исследованиями.

§ 1.12. По литературным данным и данным, любезно представленным другими исследователями, составлялись выборки из средних содержаний химических элементов в отдельных населенных пунктах, соответствующие выборкам по данным авторов книги, с выполнением требований указанных в § 1.10. Это было необходимо для установления достоверных данных, так как анализы проводились различными исследователями в различных лабораториях и разными методами, а число проб, использованных для определения среднего содержания в каждом населенном пункте в литературных данных часто отсутствует. При статистической обработке «ураганные средние содержания», установленные отдельными исследователями в конкретных населенных пунктах, если не могли объясниться определенными техногенными и природными факторами, то заменялись средними для данной выборки (§ 4.8).

§ 1.13. В дальнейшем результаты анализов проб авторов книги и полученные по литературным данным объединялись в единую выборку в соответствии с требованиями § 1.7. Рассчитанные в этой выборке средние содержания химических элементов можно считать их средними (кларковыми) содержаниями в почвах селитебных ландшафтов Мира на период начала XXI в.

Для отдельных групп городов (см. § 1.10) также составлялись единые выборки, с использованием результатов анализов проб как авторов книги, так и полученных литературных данных.

В некоторых случаях установленных средних содержаний в почвах населенных пунктов ряда химических элементов (наиболее распространенных в почвах, таких как H, C, Ca, N, Na, O и др.) было вполне достаточно для вычисления кларкового значения в почвах всех населенных пунктов. Однако в отдельных группах населенных пунктов городов с установленными средними содержаниями перечисленных выше элементов было менее 30, что не позволило с высокой степенью достоверности установить средние для этих групп содержания указанных элементов. Это нашло свое отражение в табл. 4.1.

Такая же ситуация объясняет отсутствие средних содержаний и некоторых других элементов (Hg, B, Sb) для отдельных групп населенных пунктов (см. § 1.10).

4.2.2. Полевые работы

§ 2.1. К полевым работам при данных исследованиях относится отбор проб почв. Их основная часть (рядовые штуфные пробы) отбиралась из верхнего гумусового горизонта с глубины до 30 см. В части населенных пунктов отбор производился по вертикальным опорным профилям из выработок, пройденных при строительстве зданий и других сооружений, а также из специально проходимых шурфов. Из горных выработок погоризонтно отбирались и рядовые штуфные, и задирковые*, и пунктирно-бороздовые** пробы. Последние, в этих случаях, рассматривались как контрольные. Выбранная нами глубина отбора рядовых проб обусловливалась, в основном, тремя причинами.

Во-первых, верхний гумусовый горизонт по определению А. И. Перельмана является геохимическим центром почв, в котором наблюдается наибольшее напряжение геохимических процессов.

Во-вторых, судя по многочисленным публикациям, при проведении экологических исследований (а именно для них, в основном, нужны определяемые нами величины кларковых содержаний химических элементов) пробы в населенных пунктах, в резко преобладающих случаях, берутся из верхнего гумусового горизонта почв. (Сами почвы иногда называют урбопочвами.)

В-третьих, по нашим данным и по довольно многочисленным публикациям, содержание химических элементов в почвах населенных пунктов в подавляющем большинстве случаев весьма незначительно изменяется с глубиной отбора проб. Однако мы

* Задирковая проба отбиралась путем отбития (задирки) ровного слоя почв по всей обнаженной части опробуемого горизонта. Отбор задирковых проб проводился при малой мощности почвенных горизонтов.

**Пунктирно-бороздовые пробы отбирались путем точечной отбойки восьми–десяти кусочков (сколков) размером в поперечнике до 3–4 см. Кусочки отбирались на одинаковом расстоянии друг от друга по опробуемому слою и объединялись в одну пробу.

считаем, что во всех исследованиях нужно указывать глубину отбора проб. Кроме того, следует отметить, что в соответствии с законом развития эколого-геохимических изменений (Алексеенко, 1993) *все изменения, происшедшие в ландшафте, сказываются во всех его частях, а почвы являются депонирующей средой, в которой сохраняется информация о происходивших изменениях*.

§ 2.2. Кроме задирковых и пунктирно-бороздовых, отбирались и штуфные контрольные пробы. В этом случае они брались по той же методике, что и рядовые (см. § 2.1), из тех же точек опробования и при тех же метеорологических условиях.

§ 2.3. Контрольное опробование проводилось в объеме 3–5 % от общего количества проб.

§ 2.4. По данным первичного (рядового) и контрольного опробования подсчитывалась погрешность работ и проверялось качество опробования (см. § 4.7).

§ 2.5. Пробы отбирались в специальные матерчатые мешочки и в пакеты. В каждую пробу вкладывалась бумажная этикетка, в которой кратко указывалась привязка точки отбора пробы и ее номер.

§ 2.6. В полевую книжку записывалась следующая информация:

1. Дата отбора проб.

2. Погодные условия времени отбора проб и 2–3-х суток предшествующих отбору проб.

3. Подробная привязка проб.

4. Визуально определяемые вероятные источники загрязнения. При отборе проб вдоль улиц (бульваров) отмечалась интенсивность движения автомобильного (железнодорожного) транспорта.

5. Ландшафтно-геохимические особенности опробуемого участка населенного пункта.

6. Описание опробуемого материала с указанием (по возможности) его генезиса – недавно привезенные почвы; сформировавшиеся на месте; почвы, если и завезенные, то достаточно давно.

§ 2.7. При опробовании шурфов, канав и расчисток, кроме рядовых, штуфных проб из гумусового горизонта, отбирались

задирковые или пунктирно-бороздовые пробы из каждого горизонта.

§ 2.8. Опробование различных горных выработок в обязательном порядке сопровождалось их зарисовкой и документацией в специальном журнале.

§ 2.9. Рядовая штуфная проба составлялась из отдельных равномерно отобранных кусочков (штуфов) почв. Кусочки объединялись в одну пробу.

§ 2.10. Масса отбираемых рядовых и контрольных штуфных проб ориентировочно составляла около 200 г.

§ 2.11. Все пробы подвергались просушиванию.

§ 2.12. Во время просушивания из проб удалялись корни растений и (при их наличии) обломки горных пород, строительного и прочего мусора. При этом в обязательном порядке прилипшие к корням и обломкам рыхлые образования счищались и оставлялись в пробах.

4.2.3. Подготовка проб к анализам

§ 3.1. До начала обработки все литохимические пробы были высушены до воздушно-сухого состояния.

§ 3.2. После стандартного сокращения пробы растирались агатовыми пестиками (вручную или в специальном истирателе) в агатовых ступках до состояния пудры.

§ 3.3. Все предыдущие работы по подготовке проб к анализам, указанные в § 3.1–3.2, проводились на листах чистого стекла.

§ 3.4. Перед истиранием каждой новой пробы пестик (а в истирателе – агатовые шарики), а также ступка тщательно протирались. Тряпки для их протирки менялись.

§ 3.5. Для проведения сравнительно дорогих и трудоемких анализов, рядовых и контрольных (определение C, H, Si, Al, K, Na, Ca, N, Cl, S, Fe, Mg) составлялись отдельные обобщенные пробы. Каждая из них характеризовала в целом почвы одного населенного пункта. Обобщенные пробы представляли собой равные по массе навески из различных проб, отобранных в данном городе, объединенные в одну пробу.

4.2.4. Аналитические работы и обработка результатов анализов

§ 4.1. Все пробы почв подвергались спектральному анализу. Результаты выражались в конкретных цифрах содержаний определяемых элементов. Учитывая традиции русской геохимической школы, содержания выражались в массовых процентах. В части проб, отобранных из различных групп населенных пунктов (см. § 1.10), дополнительно проводились классические химические, рентгенофлуоресцентные и нейтроноактивационные анализы, анализы на элементоопределителе.

§ 4.2. Все отобранные нами пробы, а также пробы, отобранные другими исследователями и присланные нам для проведения анализов, анализировались в одной аттестованной и аккредитованной спектральной лаборатории.

§ 4.3. Для проверки качества лабораторных исследований проводились внутрилабораторный и внешний контроль.

§ 4.4. Внутрилабораторный контроль осуществлялся путем повторного анализа проб, отправляемых одновременно с рядовыми пробами, но под зашифрованными номерами. Количество контрольных проб составляло от 3 до 5 % от количества рядовых проб.

§ 4.5 Внешний контроль проводился не в той лаборатории, где определялось содержание химических элементов в рядовых пробах. Для внешнего контроля был выбран ряд лабораторий: НИИ Геохимии биосферы в г. Новороссийске; Магадангеологии в г. Магадане, лабораториях ИГЕМа в г. Москве, лаборатории НИИ ФОХ ЮФУ, лаборатории кафедры почвоведения ЮФУ в г. Ростове-на-Дону.

§ 4.6. Пробы, отобранные при контрольном опробовании, подвергались анализу в основной лаборатории (г. Ессентуки, лаборатория ФГУ ГП «Кавказгеосъемка»).

§ 4.7. Вычисление погрешностей анализов и опробования проводилось по одним и тем же формулам. Систематическая погрешность:

$$\Delta_{\text{сист.}} = 1/n \sum_{i=1}^{n} (\log C_{i1} - \log C_{i2}) = 1/n \sum_{i=1}^{n} \log(C_{i1}/C_{i2}),$$

где n – число пар контрольных проб; C_{i1} – результат рядового

анализа пробы или первого отбора пробы; C_{i2} – результат контрольного анализа пробы или повторного отбора пробы.

Антилогарифм величины систематической погрешности будет представлять собой **систематическое относительное расхождение** значений самих концентраций ($S_{сист.}$). Оно показывает, во сколько раз первые результаты анализов систематически больше вторых.

Средняя случайная погрешность определялась по формуле:

$$\Delta_{сл.} = \left(\frac{1}{\sqrt{2n}}\right)\sum_{i=1}^{n}(\log C_{i1} - C_{i2}) = \left(1/\sqrt{2n}\right)\sum_{i=1}^{n}\log(C_{max}/C_{min}).$$

Антилогарифм средней случайной погрешности $\Delta_{сл.}$ представляет собой случайное среднее относительное отклонение самих концентраций ($S_{сл.}$). Оно показывает, во сколько раз получаемое значение содержания в среднем больше или меньше истинного.

Величины систематического относительного расхождения значений самих концентраций ($S_{сист.}$), показывающие во сколько раз первые результаты анализов систематически больше вторых не выходили за пределы 0,9–1.1. Это, в соответствии со всеми требованиями, позволило пренебречь систематической погрешностью анализа.

Величина среднего случайного относительного отклонения самих концентраций ($S_{сл}$) не превышала 1,4. Это позволяет считать работу лабораторий хорошей.

§ 4.8. В процессе обработки результатов анализов проб и в каждой выборке, составленной для отдельного населенного пункта (§ 1.11; 1.12); для их отдельных групп (§ 1.10); а также в выборке, составленной для определения кларков § 1.13 встречались «ураганные» содержания некоторых химических элементов в нескольких, пространственно не связанных между собой (отобранных в различных частях этого населенного пункта) пробах. К «ураганным» относились содержания определенного элемента, в 4–5 (и более) раз превосходящие наиболее часто встречающиеся в выборке по рассматриваемому городу. Как правило, «ураганные» содержания определенных элементов в пробах почв населенных пунктов связаны не только (не столько) с обычной для данной геохимической системы высокой степенью

рассеяния, но и с наличием неподдающихся учету «точечных» загрязнителей, являющихся источником высокого содержания рассматриваемого элемента. Такими «точечными загрязнителями» могут быть и консервные банки, и пластины свинцовых и других аккумуляторов, и рассыпанный химический реактив и т. п.

В случаях появления «ураганных» содержаний сначала рассчитывалось среднее содержание элемента с включением в выборку «ураганных» содержаний. Затем полученным средним содержанием заменялись «ураганные» содержания и снова рассчитывалось среднее содержание. Его величина в дальнейшем всюду использовалась как среднее содержание рассматриваемого элемента в данной выборке проб.

Отметим, что содержания, относимые к «ураганным», в одних выборках могли не быть «ураганными» в других выборках.

§ 4.9. Чрезвычайно редко в отдельных пробах содержания определяемых химических элементов были ниже предела чувствительности анализа. В этих пробах для статистической обработки результатов анализов вместо «элемент не обнаружен» бралось содержание, равное половине чувствительности анализа. Отметим еще раз, что это было в единичных случаях, а общее число элементоопределений составляло сотни тысяч.

4.3. ОСОБЕННОСТИ СРЕДНИХ (КЛАРКОВЫХ) СОДЕРЖАНИЙ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ, УСТАНОВЛЕННЫХ ДЛЯ ПОЧВ НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ НАЧАЛА XXI ВЕКА

4.3.1. Общие сведения об используемой информации

Как уже рассматривалось в разделе 4.21, после отдельной для каждого населенного пункта статистической обработки результатов анализов всех рядовых и контрольных проб, каждый такой пункт в дальнейшем характеризовался только одной пробой. Эта проба представляла собой среднее содержание химических элементов в данном городе в его верхнем горизонте почв мощностью около 30 см. При расчете средних содержаний для города «ураганные» содержания, встречающиеся в отдельных

пробах, были заменены (§ 4.8), и можно считать, что среднее содержание, характеризующее определенный населенный пункт, на самом деле является средним содержанием для этого населенного пункта.

Полученные таким образом средние содержания, характеризующие каждый населенный пункт, рассматривались как одна проба при составлении **выборки для расчета кларковых содержаний в почвах населенных пунктов.** Всего при расчетах были учтены средние содержания химических элементов в почвах приблизительно 300 населенных пунктов Европы, Азии, Америки, Австралии, Африки с различным числом жителей. Более половины населенных пунктов (селитебных ландшафтов) было опробовано за последние 15 лет авторами данной книги и проанализировано в одной лаборатории (см. § 4.2–4.6) с последующим проведением внешнего контроля (см. § 4.1; 4.5).

В отборе рядовых и контрольных проб совместно с авторами принимали участие сотрудники НИИ Геохимии биосферы **Е. В. Власова, А. Ю. Петров** (Краснодарский край, Россия), а также студенты Барановичского и Санкт-Петербургского горного университетов **Ю. Черняк** и **А. Парфианович** (Германия, Италия, Сан-Марино, Венгрия), **А. Трофимов** (Англия, Финляндия). Часть проб была отобрана и передана авторам для анализов и их последующей обработки **А. В.** и **Е. В. Алексеенко** (г. Магадан, курорты Кубы и Марианских островов, г. Аделаида в Австралии), **О. А. и А. Ю. Юдовыми** (Австралия, Китай), **С. А. Бузмаковым** (г. Пермь), **Н. Г. Иващенко** (г. Краснодар и станицы Краснодарского края), **И. А. Карлович** (г. Владимир), **Г. Ю. Ямских и И. В. Борисовой** (г. Красноярск).

Вторая часть данных о средних содержаниях химических элементов в почвах отдельных населенных пунктов была взята из опубликованных материалов и неопубликованных данных, любезно предоставленных отдельными исследователями. Это известные профессора **М. С. Панин** (Казахстан), **Л. П. Рихванов** и **Н. В. Барановская** (г. Томск), **А. И. Сысо** (г. Новосибирск). Существенную помощь авторам в сборе литературных данных и в проведении анализов оказали академик РАН **Н. П. Лаверов**, профессора **В. С. Безель** (г. Екатеринбург), **П. В. Зарицкий** (Украина), **В. Н. Зуев** и **Н. Е. Кисель** (Белоруссия), **З. В. Лысенкова**

(г. Смоленск), **Т. М. Минкина** (г. Ростов-на-Дону), **Н. Н. Мирошниченко** (Украина), **В. В. Рудский** (Белоруссия), **С. Б. Ящинин** и **С. Е. Калюга** (г. Ессентуки). Всем им авторы выражают глубокую благодарность.

Отметим, что в опубликованных литературных данных и в материалах, представленных отдельными исследователями, иногда приводятся средние содержания для почв селитебных ландшафтов лишь сравнительно небольшой группы химических элементов.

В некоторых случаях данные различных авторов о средних содержаниях элементов в одном и том же селитебном ландшафте имеют определенные отличия. В такой ситуации нами рассчитывались средние содержания для данного населенного пункта с учетом всех материалов различных исследователей. Затем, при дальнейших расчетах, использовались уже полученные таким путем средние содержания, характеризующие данный селитебный ландшафт. Эти содержания также рассматривались как одна проба для этого населенного пункта.

Всего, как уже указывалось, было охарактеризовано таким путем (одна проба со средним для каждого селитебного ландшафта содержанием химических элементов) около 300 населенных пунктов; половина из них – по результатам опробования, проводимого авторами.

Кроме того, для проведения еще одного своеобразного контроля анализировались сборные пробы (обобщенные), характеризующие почвы городов (российских и зарубежных) с различным числом жителей: 1 – свыше 1 млн, 2 – 300–700 тыс., 3 – 100–300 тыс., 4 – менее 100 тыс. Сборными пробами были также охарактеризованы города с различной техногенной нагрузкой, курорты, морские порты. Особое внимание в сборных (обобщенных) пробах уделялось содержаниям так называемых «породообразующих элементов»: Na, K, Ca, Mg, Al, Si и др., определенных классическими химическими анализами («мокрая химия»), рентгенофлуоресцентным и нейтроноактивационным методами в лабораториях ИГЕМа (г. Москва) и Южного Федерального университета (г. Ростов-на-Дону), Кавказгеологсъемка (г. Ессентуки).

4.3.2. Кларки почв селитебных ландшафтов

Отметим еще раз, что данные, характеризующие средние содержания химических элементов в почвах отдельных населенных пунктов, сначала были объединены в одну выборку. Содержания каждого элемента в этой выборке подвергались статистической обработке. Для ряда элементов средние содержания в отдельных городах пришлось рассматривать как «ураганные» для данной выборки. К ним были отнесены содержания, значительно превышающие установленные (с их учетом) средние, как это делалось для содержаний в отдельных пробах одного населенного пункта (§ 4.8). «Ураганные» содержания заменялись средними, установленными с их учетом. Затем снова определялись средние содержания, которые можно рассматривать как кларковые для почв населенных пунктов в начале XXI в. Эти содержания приведены в табл. 4.1.

Рассмотрим особенности установленных средних содержаний химических элементов в почвах селитебных ландшафтов, сравнивая их с кларками земной коры и почв Земли (по А. П. Виноградову) (табл. 4.1). Также рассмотрим изменение средних содержаний элементов в почвах в зависимости от числа жителей в населенном пункте (прил. 3).

Содержание в почвах населенных пунктов серебра (Ag) равно $0{,}04 \cdot 10^{-3}$ %. Его содержание в почвах Земли определено неточно ($n \cdot 0{,}01 \cdot 10^{-3}$ %) и говорить о существенных отличиях распространенности Ag в почвах Земли и почвах населенных пунктов некорректно. Тем более, что для серебра ошибка среднего в почвах селитебных ландшафтов равна (с вероятностью 95 %) ± $0{,}01 \cdot 10^{-3}$ %. В горных породах содержание серебра меньше, чем в почвах селитебных ландшафтов. Наиболее близки к кларку почв селитебных ландшафтов содержания рассматриваемого металла в основных магматических породах, а также в сланцах и глинах ($0{,}01 \cdot 10^{-3}$ %). Приведенные данные позволяют предполагать, что высокие содержания Ag в почвах некоторых описанных далее населенных пунктов в основном определяются техногенезом.

Содержания серебра в изучаемых почвах, в несколько раз превышающие среднее, отмечены в целом ряде населенных пунктов с различным числом жителей. К данным городам относят-

Таблица 4.1

Распространённость и распределение химических элементов в почвах населённых пунктов в сравнении с земной корой и почвами Земли (содержание всех элементов в $n \cdot 10^{-3}$ % массы)

Table 4.1

The abundances and the distributions of chemical elements in urban soils comparing with the Earth's crust and the Earth's soil cover (concentrations of all elements in $n \cdot 10^{-3}$ %)

Элемент	Номер элемента	Кларк				Абсолютный разброс в породах и почвах континентов	Абсолютный разброс в почвах отдельных групп населённых пунктов	Среднее содержание в почвах городов с населением				хуторов, малых посёлков, станиц	рекреационно-туристических центров
		почв населённых пунктов	почв Земли	концентрации по отношению к почвам Земли	земной коры	концентрации по отношению к земной коре		более 700 тыс. чел.	от 300 до 700 тыс. чел.	от 100 до 300 тыс. чел.	менее 100 тыс. чел.		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Ag	47	0,04	0,05	0,7	0,01	5,3	13,5	1,9	0,04	0,04	0,05	0,04	0,02	0,04
Al	13	3820	7130	0,5	8050	0,5	24,9	1,2	3760	3736	–	4484	–	4226
As	33	1,59	0,50	3,2	0,17	9,4	13	4,7	2,46	1,00	2,09	1,50	0,52	2,15
B	5	4,50	1,00	4,5	1,20	3,8	33,3	–	–	–	–	–	–	–
Ba	56	85,31	50,00	1,7	65,00	1,3	4000	2,0	88,06	109,14	60,27	98,04	53,69	98,39
Be	4	0,33	0,60	0,5	0,38	0,9	12	4,3	0,29	0,28	–	0,19	0,84	0,24
Bi	83	0,11	–	–	0,001	124,5	1,4	2,4	0,12	0,11	0,23	0,10	0,10	0,11
C	6	4510	–	–	23	196,1	–	–	–	–	–	–	–	–
Ca	20	5380	1370	3,9	2960	1,8	59,3	4,5	1710	7709	–	7667	–	7118
Cd	48	0,09	0,05	1,8	0,01	6,9	14,3	15,8	0,29	0,08	0,05	0,14	0,02	–
Cl	17	28,50	10,00	2,9	17,00	1,7	52	1,3	30,70	31,25	–	23,95	–	27,40
Co	27	1,41	0,80	1,8	1,80	0,8	1500	1,7	1,58	1,44	1,27	1,46	1,07	1,81
Cr	24	8,00	20,00	0,4	8,30	1,0	800	2,1	8,27	5,50	4,22	8,15	5,28	8,81
Cs	55	n·1,0	0,50	–	0,37	–	24	–	–	–	–	–	–	–
Cu	29	3,90	2,00	1,9	4,70	0,8	21,7	2,0	5,51	3,01	2,81	2,82	3,47	5,69
Fe	26	2230	3800	0,6	4650	0,5	24,8	1,4	1960	2011	–	2657	–	2490
Ga	31	1,62	3,00	0,5	1,90	0,9	20	1,2	1,74	1,61	1,51	1,52	1,80	1,62
Ge	32	0,18	0,50	0,4	0,14	1,3	25	1,6	0,19	0,16	0,16	0,26	0,16	0,19

Окончание табл. 4.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
H	1	1500	2300*	0,7	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Hg	80	0,088	0,001	88,0	0,008	11,0	40	–	–	–	–	–	–	–
K	19	1340	1360	1,0	2500	0,5	1200	1,2	1450	1260	–	1277	–	1277
La	57	3,40	4,00	0,9	2,90	1,2	184	2,1	1,50	3,20	–	–	–	–
Li	3	4,95	3,00	1,6	3,20	1,5	132	1,2	4,54	5,25	5,03	4,59	5,04	5,12
Mg	12	790	630	1,3	1870	0,4	127,5	1,5	670	1010	–	911	–	1006
Mn	25	72,87	85,00	0,9	100,00	0,7	32,4	2,5	87,05	71,52	54,66	45,75	67,49	112,46
Mo	42	0,24	0,20	1,2	0,11	2,2	13	1,9	0,23	0,22	0,36	0,26	0,37	0,20
N	7	1000	100	10,0	1,90	526,3	166,7	–	–	–	–	–	–	–
Na	11	580	630	0,9	2500	0,2	101	1,3	660	527	–	592	–	645
Nb	41	1,57	–	–	2,00	0,8	700	1,6	1,67	1,57	2,42	1,70	1,50	1,64
Ni	28	3,30	4,00	0,8	5,80	0,6	1000	2,2	3,54	2,80	2,37	1,84	2,84	3,98
O	8	49 000	49 000	1,0	46500	1,1	–	–	–	–	–	–	–	–
P	15	120,05	80,00	1,5	93,00	1,3	6,5	1,2	134,12	108,98	132,70	120,37	131,95	119,77
Pb	82	5,45	1,00	5,4	1,60	3,4	20	2,9	6,62	4,56	4,34	3,95	2,27	5,52
Rb	37	5,80	10,00	0,6	15,00	0,4	1000	1,2	5,83	5,10	–	6,30	–	6,30
S	16	120	85	1,4	47	2,6	12,5	1,6	160	114	–	105	–	102
Sb	51	0,10	–	–	0,05	2,0	40	–	–	–	–	–	–	–
Sc	21	0,94	0,70	1,3	1,00	0,9	30	2,0	0,86	0,84	1,01	1,18	0,60	1,18
Si	14	28900	33000	0,9	29500	1,0	15,3	1,3	32930	26120	–	25534	–	26701
Sn	50	0,68	1,00	0,7	0,25	2,7	20	1,6	1,00	0,64	0,90	0,74	0,62	0,65
Sr	38	45,78	30,00	1,5	34,00	1,3	610	2,4	35,82	35,92	36,53	32,45	23,15	55,07
Ta	73	0,15	–	–	0,25	0,6	84	1,0	0,10	–	–	–	0,10	–
Ti	22	475,79	460,00	1,0	450,00	1,1	46	1,3	497,58	437,82	427,63	448,91	558,32	479,44
Tl	81	0,11	–	–	0,10	1,1	46	10,9	0,10	0,10	1,07	0,22	0,10	0,11
V	23	10,49	10,00	1,0	9,00	1,2	12,5	1,8	10,70	7,89	9,91	10,41	6,45	11,54
W	74	0,29	–	–	0,13	2,2	3,7	1,5	0,27	0,36	0,35	0,35	0,27	0,24
Y	39	2,34	5,00	0,5	2,00	1,2	100	2,1	2,35	2,33	3,65	2,55	1,75	1,87
Yb	70	0,24	–	–	0,03	7,3	14	1,3	0,25	0,23	0,30	0,30	0,27	0,25
Zn	30	15,80	5,00	3,2	8,30	1,9	8,67	2,2	20,11	11,58	9,95	9,24	9,77	19,99

* Уточнённые данные о кларке H в почвах Земли

ся и такие крупные, как Москва (15 млн), Лондон (7,6 млн), Париж (2,2 млн), и такие, как Симферополь (360 тыс.), Версаль (86 тыс.), Геленджик (менее 10 тыс.), а также небольшие курорты Крыма (в скобках указано число жителей в данном населенном пункте). «Ураганными» для рассматриваемой выборки являлись средние содержания металла в почвах населенных пунктов, связанных с добычей и переработкой полиметаллических руд. Это рудник Текели и старый город Текели около обогатительной фабрики (Казахстан) и (по литературным данным) поселок у полиметаллической фабрики. Содержание серебра в почвах этих населенных пунктов от 0,2 до $0{,}7 \cdot 10^{-3}$ %. «Ураганные» содержания отмечены также в г. Москве ($0{,}2 \cdot 10^{-3}$ %) и в ряде курортов и баз отдыха Украины (Ливадия, Балаклава) и Центральной России (под г. Владимиром). Содержание в их почвах Ag колеблется от 0,3 до $0{,}75 \cdot 10^{-3}$ %.

Минимальное среднее содержание серебра отмечено (по литературным данным) в почвах довольно большого промышленного центра г. Кемерово (534 тыс.) – $0{,}001 \cdot 10^{-3}$ %. Небольшие средние содержания металла были также установлены в поселке Красноярского края Уяр ($0{,}004 \cdot 10^{-3}$ %) с числом жителей около 13 тыс.; в г. Междуреченске Кемеровской области ($0{,}005 \cdot 10^{-3}$ %) с числом жителей 104 тыс.; и на курортах о. Сайпан ($0{,}006 \cdot 10^{-3}$ %) в группе Марианских островов в Тихом океане.

Конкретно говорить, с высокой степенью достоверности, о влиянии на среднее для населенного пункта содержание серебра в почвах определенного вида антропогенной деятельности можно только в городах с обогатительными полиметаллическими фабриками и на полиметаллических рудниках.

Устанавливается определенная связь средних содержаний Ag в почвах населенных пунктов с числом жителей в этих пунктах. По значениям средних содержаний металла группы селитебных ландшафтов можно расположить в следующем порядке по убыванию: 1 – города с населением 100–300 тыс. ($0{,}046 \cdot 10^{-3}$ %), 2 – с населением около 1 млн ($0{,}043 \cdot 10^{-3}$ %), 3 – курорты ($0{,}041 \cdot 10^{-3}$ %), 4 – с населением менее 100 тыс. ($0{,}037 \cdot 10^{-3}$ %), 5 – 300–700 тыс. ($0{,}036 \cdot 10^{-3}$ %), 6 – хутора, небольшие поселки, деревни ($0{,}025 \cdot 10^{-3}$ %).

В пределах выделенной нами геохимической системы (почвы населенных пунктов) абсолютный разброс (АР) средних содержаний в ее частях, обособленных в зависимости от числа жителей, равен 1,9. Учитывая, что абсолютный разброс (АР) кларковых содержаний серебра в породах континентов значительно больше (13,5), можно заключить, что неравномерность распределения Ag в почвах населенных пунктов опасности для развития живого вещества не представляет.

Среднее содержание в почвах населенных пунктов алюминия (Al) равно 3,8 % ($3820 \cdot 10^{-3}$ %). Контрольные анализы, проведенные рентгенофлуоресцентным методом, подтвердили правильность установленного значения. Оно в 1,9 раза меньше кларка почв Земли и в 2,1 раза меньше кларка земной коры. Объяснить такое, можно сказать аномально низкое содержание металла в почвах населенных пунктов, можно тем, что Al в почвах во многом накапливается за счет разложения органики, которую в городах обычно вывозят. Кроме того, в почвах гумидных зон, с pH $\leq$ 5,5, подвижность Al резко возрастает и в белорусском Полесье содержание металла в почвах уменьшается до 0,72 %. Городские же почвы, как отмечалось выше, отличаются повышенным увлажнением.

Проведенных анализов хватило для оценки распространенности алюминия (Al) в почвах всех населенных пунктов (с использованием сборных проб, обобщенных для целого населенного пункта). Однако оценка отдельных групп населенных пунктов, выделяемых по числу жителей, не проводилась. Отметим только, что наиболее высокие содержания алюминия (Al) выявлены в почвах приморских городов, которые по мере уменьшения содержания металла располагаются в таком порядке: Темрюк (менее 100 тыс. жителей), Аделаида (более 1 млн жителей); Анапа (курорт), Новороссийск (300 тыс. жителей).

Среднее содержание в почвах населенных пунктов мышьяка (As) после исключения городов с «ураганными» содержаниями равно $1{,}59 \cdot 10^{-3}$ %. (По результатам контрольных анализов рентгенофлуоресцентным методом в лаборатории ЮФУ оно несколько меньше – $1{,}4 \cdot 10^{-3}$ %). Установленное содержание почти в 3,2 раза превосходит его кларковое содержание в почвах Земли ($0{,}5 \cdot 10^{-3}$ %). Как видно, отличие это весьма существенно даже

при вероятности 95 %. В горных породах содержание, близкое к установленному для почв населенных пунктов, характерно лишь для кларка сланцев ($1{,}3 \cdot 10^{-3}$ %). Содержание As в земной коре ($0{,}17 \cdot 10^{-3}$ %) в 9,4 раза меньше, чем в почвах населенных пунктов.

В выборке, составленной для расчета кларка почв селитебных ландшафтов, установлено шесть населенных пунктов с «ураганными» для нее средними содержаниями. К ним относятся г. Плимут (Англия), г. Адлер и курортный поселок на Черноморском побережье – Южный (в этих селитебных ландшафтах среднее содержание составляет $4 \cdot 10^{-3}$ %); города Текели и Усть-Каменогорск (литературные данные), связанные с добычей и переработкой полиметаллических руд в Казахстане (7 и $7{,}3 \cdot 10^{-3}$ %); поселок с полиметаллической обогатительной фабрикой, выделенный Ю. Е. Саетом ($10 \cdot 10^{-3}$ %).

Повышенными содержаниями мышьяка (3–$3{,}57 \cdot 10^{-3}$ %)отличаются еще 5 населенных пунктов. К ним относятся четыре города с населением больше 1 млн (Лондон, Пекин, Шэньчжэнь, Гонконг) и курорт на Черноморском побережье России – пос.Дивноморск ($3{,}4 \cdot 10^{-3}$ %).

Минимальное среднее содержание As (0,02–$0{,}06 \cdot 10^{-3}$ %) (по данным ряда исследователей) определено в почвах г. Барнаула (613 тыс. жителей), Новокузнецка (548 тыс. жителей) (литературные данные) и отдельных небольших деревень.

Приведенные данные позволяют считать, что обогащение почв селитебных ландшафтов обусловлено антропогенной деятельностью. Связи существенно повышенных содержаний As с географическим положением городов не выявлено, хотя в Томской области среднее содержание мышьяка в почвах целого ряда деревень (по литературным данным) составляет от 0,06 до $0{,}33 \cdot 10^{-3}$ %, что даже ниже кларка почв Земли (по А. П. Виноградову).

Устанавливается определенная зависимость содержаний As в почвах населенных пунктов с числом жителей, проживающих в них. Так, наиболее высокие средние содержания мышьяка в почвах ($2{,}46 \cdot 10^{-3}$ %) отмечены в группе городов с населением около 1 млн жителей. Далее, по мере уменьшения средних содержаний в почвах групп изученных населенных пунктов, следуют курорты ($2{,}145 \cdot 10^{-3}$ %), города с числом жителей

100–300 тыс. ($2{,}09 \cdot 10^{-3}$ %), с числом жителей меньше 100 тыс. ($1{,}5 \cdot 10^{-3}$ %) и с населением около 500 тыс. ($1{,}0 \cdot 10^{-3}$ %). Замыкают этот ряд небольшие поселки и хутора ($0{,}519 \cdot 10^{-3}$ %). Приведенные данные позволяют рассчитать величину абсолютного разброса для почв населенных пунктов. Она равняется 4,7 и меньше, чем AP в породах и почвах континентов (13). Это позволяет считать, что распределение As в различных группах населенных пунктов пока не оказывает существенного отрицательного воздействия на живое вещество. В то же время на значительно повышенные концентрации мышьяка, относительно удаленного от линии жизни, следует обратить особое внимание.

Среднее содержание в почвах населенных пунктов бора (B) равно $4{,}5 \cdot 10^{-3}$ %. Оно выше кларка для почв Земли ($1 \cdot 10^{-3}$ %). Установленное нами среднее содержание, по данным В. В. Иванова, не является аномальным для почв нашей страны, в которых оно колеблется 0,5–1 до $30–100 \cdot 10^{-3}$ %. Для отдельных групп городов, выделяемых по числу жителей, среднее содержание в почвах бора (B) не устанавливалось.

Среднее содержание в почвах населенных пунктов бария (Ba) равно $85{,}3 \cdot 10^{-3}$ %. Оно в 1,7 раза выше среднего содержания этого химического элемента в почвах Земли, и это отличие весьма существенно даже с вероятностью 95 %. Близкие по значению к среднему содержанию в почвах населенных пунктов кларковые содержания установлены для земной коры ($65 \cdot 10^{-3}$ %), кислых магматических пород, бедных Ca ($84 \cdot 10^{-3}$ %), сланцев и глины ($80 \cdot 10^{-3}$ %). В сиенитах содержание бария ($160 \cdot 10^{-3}$ %) даже значительно выше установленного нами кларка для почв селитебных ландшафтов начала XXI века. Это позволяет считать, что определенные горные породы могли, совместно с антропогенной деятельностью, оказать значительное влияние на содержание рассматриваемого химического элемента в почвах ряда населенных пунктов.

В выборке, составленной для расчета кларков почв селитебных ландшафтов выявлены три пробы с «ураганными» средними содержаниями бария. Они характеризуют г. Калининград и Актау, а также рудник Текели. Повышенные средние содержания (от 136 до $192 \cdot 10^{-3}$ %) отмечены в городах Санкт-Петербург,

Каир, Туапсе, Текели (Казахстан), Геленджик, Ессентуки и Пятигорск.

Минимальные средние содержания бария (от 6 до $13{,}5 \cdot 10^{-3}$ %) характерны, по данным Е. Язикова и др., для почв ряда деревень Томской области, что может быть связано с аналитическими погрешностями или с особенностями геолого-экологической ситуации в регионе.

Ряд, составленный для групп населенных пунктов по уменьшению в их почвах средних содержаний Ba, имеет следующий вид: 1 – города с населением 300–700 тыс. ($109{,}14 \cdot 10^{-3}$ %), 2 – курорты ($98{,}4 \cdot 10^{-3}$ %), 3 – с населением менее 100 тыс. ($98{,}04 \cdot 10^{-3}$ %), 4 – города-миллионеры ($88{,}06 \cdot 10^{-3}$ %), 5 – с населением 100–300 тыс. ($60{,}27 \cdot 10^{-3}$ %), 6 – хутора, небольшие деревни, станицы ($53{,}7 \cdot 10^{-3}$ %).

Величина абсолютного разброса средних содержаний Ba в почвах этих групп городов равна 2,0, что во много раз меньше AP для пород и почв континентов Земли (4000).

Барий в таблице химических элементов Д. И. Менделеева находится ниже (и на довольно значительном удалении) «линии жизни», а это заставляет обращать внимание на его повышенные (почти в 2 раза по сравнению с почвами Земли) содержания в почвах населенных пунктов.

Среднее содержание бериллия (Be) в почвах населенных пунктов ($0{,}33 \cdot 10^{-3}$ %) в 1,8 раза меньше кларка для почв Земли, установленного А. П. Виноградовым ($0{,}6 \cdot 10^{-3}$ %). Однако кларк, определенный нами для почв селитебных ландшафтов, гораздо ближе, чем кларк для почв Земли, к кларку земной коры ($0{,}38 \cdot 10^{-3}$ %), а также к кларкам кислых магматических пород бедных Ca, сланцев, сланцев и глин (кларк всех этих горных пород равен $0{,}3 \cdot 10^{-3}$ %). В выборке, составленной нами для установления кларка почв селитебных ландшафтов, выделились три населенных пункта с «ураганными» (по литературным данным) средними содержаниями Be. Все они относятся к группе хуторов и небольших деревень в Томской области. Величины «ураганных» содержаний Be колеблются от 1,8 до $2{,}4 \cdot 10^{-3}$ %. Повышенные средние содержания отмечены также в деревне Руотсинпихтаа в Финляндии ($0{,}5 \cdot 10^{-3}$ %), в г. Стокгольме ($0{,}5 \cdot 10^{-3}$ %), в городах Хельсинки и Темиртау ($0{,}4 \cdot 10^{-3}$ %)

и (по литературным данным) в нескольких деревнях Томской области.

Минимальное среднее содержание бериллия ($0{,}05 \cdot 10^{-3}$ %) установлено на курорте на побережье о. Сайпан (Марианские острова в Тихом океане). В основной массе городов среднее содержание Be колеблется от 1,2 до $0{,}3 \cdot 10^{-3}$ %.

По величинам средних содержаний Be в почвах отдельные группы населенных пунктов располагаются в следующем порядке: 1 – хутора, небольшие деревни, поселки ($0{,}84 \cdot 10^{-3}$ %), 2 – города с населением около 1 млн ($0{,}29 \cdot 10^{-3}$ %), 3 – города с населением около 500 тыс. ($0{,}28 \cdot 10^{-3}$ %), 4 – курорты ($0{,}24 \cdot 10^{-3}$ %), 5 – города с населением меньше 100 тыс. ($0{,}19 \cdot 10^{-3}$ %). Абсолютный разброс средних содержаний Be для выделенных групп городов равен 4,3, тогда как для кларков горных пород континентов величина AP Be составляет 12.

Бериллий располагается в таблице химических элементов Д. И. Менделеева незначительно выше «линии жизни», а, следовательно, крайне небольшое увеличение его среднего содержания в почвах городов, по сравнению с кларком земной коры, не является опасным для живого вещества.

Среднее содержание висмута (Bi) в почвах населенных пунктов равно $0{,}11 \cdot 10^{-3}$ %. Кларк висмута для почв Земли А. П. Виноградовым не был определен, а установленный нами существенно выше кларка земной коры $9 \cdot 10^{-7}$ % и кларков различных типов горных пород ($7 \cdot 10^{-7}$–$1 \cdot 10^{-6}$ %). Это, в определенной мере, свидетельствует о значительном вкладе антропогенной деятельности в содержание металла в почвах населенных пунктов.

В выборке для расчета кларка Bi в почвах селитебных ландшафтов выделяются 3 населенных пункта с «ураганными» средними содержаниями. Это курорт на о. Куба ($0{,}6 \cdot 10^{-3}$ %), полиметаллический рудник (по литературным данным) ($0{,}8 \cdot 10^{-3}$ %) и (по литературным данным) город Междуреченск в Кемеровской области ($0{,}45 \cdot 10^{-3}$ %).

Минимальные средние содержания висмута в почвах установлены для черноморского курорта Кабардинка ($0{,}03 \cdot 10^{-3}$ %) и курорта на балтийском побережье – Зеленогорска ($0{,}04 \cdot 10^{-3}$ %). В почвах подавляющего числа населенных пунктов среднее содержание металла колеблется от $0{,}07 \cdot 10^{-3}$ % до $0{,}2 \cdot 10^{-3}$ %.

По величинам средних содержаний Bi группы населенных пунктов располагаются в следующем порядке: 1 – с населением 100–300 тыс. ($0{,}23 \cdot 10^{-3}$ %); 2 – с населением около 1 млн ($0{,}12 \cdot 10^{-3}$ %); 3–4 – с населением около 500 тыс. и курорты ($0{,}11 \cdot 10^{-3}$ %); 5 – хутора и небольшие поселки ($0{,}1 \cdot 10^{-3}$ %); 6 – с населением меньше 100 тыс. ($0{,}096 \cdot 10^{-3}$ %).

Величина абсолютного разброса средних содержаний висмута в почвах групп населенных пунктов равняется 2,4. Она в 1,7 раза больше AP кларков горных пород на континентах. Это необходимо учитывать при миграции населения. Также необходимо учитывать, что Bi располагается в таблице Д. И. Менделеева значительно ниже «линии жизни», а следовательно, его существенно повышенное содержание в почвах населенных пунктов может отрицательно сказаться на развитии живого вещества и, в первую очередь, на здоровье населения.

Среднее содержание в почвах населенных пунктов углерода (C) по нашим данным равно $4510 \cdot 10^{-3}$ %. Оно намного больше кларка земной коры ($23 \cdot 10^{-3}$ %), кларковое содержание углерода в почвах А. П. Виноградовым не было определено. Отметим, что по данным многих исследователей, средние содержания этого элемента в почвах различных регионов отличаются больше, чем на порядок. В. В. Иванов приводит данные о среднем содержании углерода в почвах равном $2000 \cdot 10^{-3}$ %. При этом он отмечает, что наибольшие содержания углерода характерны для черноземов и связаны с содержаниями в почве микроорганизмов и грибков. Содержание последних обычно выше весной и осенью. (Укажем, что мы приводили опробование в подавляющем большинстве случаев летом и только в Африке – зимой). По данным С. А. Кудрина суммарное среднее содержание углерода в типичных черноземах европейской части бывшего СССР составляет $3390 \cdot 10^{-3}$ %, что близко к установленному нами кларку почв населенных пунктов и в 2,3 раза выше кларка углерода (C) для почв по А. И. Перельману (1973).

Несколько условно углерод в почвах иногда разделяют на связанный с органическим веществом и с минералами (обычно карбонатами). Можно считать, что в почвах населенных пунктов основное количество углерода (C) является органическим. Это заключение делается на основе сравнения содержания углерода

в почве с содержанием в ней карбонатов. Так, (табл. 4.2) карбонатов в почве Темрюка (1,61 %) почти в 4 раза больше, чем в Минске (0,44 %), а содержание углерода (С) в почвах Минска в 3,6 раза больше, чем в почвах Темрюка.

Не выявлена связь содержаний углерода в почвах городов с их географическим положением и числом жителей. При этом четко прослеживается положительная корреляция содержания углерода (С) с карбонатностью почв, особенно при их малой мощности. В таких городах, как Новороссийск, Геленджик и др., построенных на существенно карбонатных породах (мергелях), значительно (до 1,8 раза) выше кларка среднее содержание углерода в почвах (соответственно, 5,84 и 7,97 %). При этом повышенная концентрация углерода (С) не связана и с влиянием моря: в таких городах-портах, как Аделаида, Темрюк, Светлогорск (бывший Раушенбах) среднее содержание рассматриваемого элемента в 2,6–5 раз меньше кларка почв населенных пунктов.

Таблица 4.2

Содержание (в %) в почве ряда городов углерода (С) и $CaCO_3$

Table 4.2

Concentrations (%) in soils of several cities of carbon (C) and $CaCO_3$

Город	$CaCO_3$	C	Город	$CaCO_3$	C
Аделаида	0,39	0,88	Темрюк	1,61	1,54
Минск	0,44	5,55	Абинск	2,85	7,14
Владимир	0,58	7,48	Анапа	3,57	4,58

Среднее содержание в почвах населенных пунктов кальция (Ca) равно $5380 \cdot 10^{-3}$ %. Оно в 3,9 раза превышает величину кларка почв Земли ($1370 \cdot 10^{-3}$ %) и в 1,8 раза – кларк земной коры ($2960 \cdot 10^{-3}$ %). Для отдельных групп городов среднее содержание в почвах кальция не устанавливалось. Однако следует отметить, что наиболее высокие концентрации металла установлены для почв ряда городов Черноморского побережья: Геленджик, Новороссийск, Анапа. Однако это, как уже было показано ранее, скорее, связано не с климатическими особенностями и близостью моря, а с почвоподстилающими (почвообразующими) карбонатными и карбонатно-терригенными породами. Об этом же свидетельствуют в 20 раз меньшие содержания кальция (Ca) в городах Аделаида (Индийский океан) и Светлогорск (Балтийское море). С особенностями химического и гранулометрического состава почвообразующих горных пород, по мнению В. В. Иванова (1994), в основном связаны содержания кальция в почвах. По его данным, наибольшим средним содержанием кальция (Ca) отличаются карбонатный серозем ($11\,470 \cdot 10^{-3}$ %) и карбонатсодержащий чернозем (до $11\,680 \cdot 10^{-3}$ %).

Среднее содержание в почвах населенных пунктов кадмия (Cd) равняется $0{,}09 \cdot 10^{-3}$ %. Оно почти в 2 раза больше кларка для почв Земли ($0{,}05 \cdot 10^{-3}$ %), а также значительно больше кларка земной коры ($0{,}013 \cdot 10^{-3}$ %) и кларков различных типов магматических и осадочных горных пород. Это дает основание для утверждения положения о том, что повышение содержания кадмия в почвах населенных пунктов в основном является результатом антропогенной деятельности.

В выборке для установления кларкового содержания рассматриваемого металла в почвах населенных пунктов выделяется 6 проб с «ураганным» средним содержанием в отдельных пунктах. Такими пунктами являются расположенные в Казахстане города Алматы ($4{,}6 \cdot 10^{-3}$ %), Усть-Каменогорск ($0{,}86 \cdot 10^{-3}$ %), Павлодар ($1{,}37 \cdot 10^{-3}$ %), Балхаш ($1{,}12 \cdot 10^{-3}$ %), Риддер ($1{,}08 \cdot 10^{-3}$ %), а также поселок у фосфоритового рудника в штате Айдахо ($3{,}3 \cdot 10^{-3}$ %), район воздействия Среднеуральского медеплавильного завода ($1{,}25 \cdot 10^{-3}$ %), г. Уяр ($0{,}9 \cdot 10^{-3}$ %) (все по литературным данным).

В большой группе городов отмечаются существенно повышенные средние содержания кадмия в почвах. К ним, в первую очередь, следует отнести Львов ($0{,}48 \cdot 10^{-3}$ %), Шымкент ($0{,}45 \cdot 10^{-3}$ %), Константиновка на Украине ($0{,}42 \cdot 10^{-3}$ %), черноморский курорт Хоста ($0{,}3 \cdot 10^{-3}$ %). Также в большой группе населенных пунктов среднее содержание рассматриваемого металла существенно ниже установленного нами кларка для почв населенных пунктов ($0{,}007–0{,}017 \cdot 10^{-3}$ %). К ним относятся небольшие населенные пункты Белоруссии, ряд хуторов и деревень Томской области, поселок Морской станции под Владивостоком; (все по литературным данным).

Выделенные группы селитебных ландшафтов, по мере уменьшения средних содержаний кадмия, располагаются в следующем порядке: 1– с населением около 1 млн ($0{,}29 \cdot 10^{-3}$ %); 2 – курорты ($0{,}267 \cdot 10^{-3}$ %); 3 – с населением меньше 100 тыс. ($0{,}142 \cdot 10^{-3}$ %); 4 – с населением около 500 тысяч ($0{,}08 \cdot 10^{-3}$ %); 5 – с населением 100–300 тыс. ($0{,}051 \cdot 10^{-3}$ %); 6 – хутора и небольшие деревни ($0{,}018 \cdot 10^{-3}$ %).

Таким образом, по средним содержаниям в почвах кадмия существенно отличаются не только отдельные населенные пункты, но и их группы, сформированные в зависимости от числа жителей, проживающих в этих населенных пунктах. Показателем таких отличий является величина абсолютного разброса (АР), которая в данном случае равна 15,8. Она больше АР кларковых содержаний Cd в горных породах и почвах континентов. Это значит, что миграция населения из групп городов с различным фоновым содержанием металла может сказаться на здоровье.

Отметим также, что в таблице Д. И. Менделеева Cd находится на довольно значительном удалении от «линии жизни» и ниже ее. В связи с этим существенные повышения концентрации металла в почвах населенных пунктов могут оказать негативное воздействие на живые организмы.

Среднее содержание хлора (Cl) нами определено только для почв всех населенных пунктов. Оно равно $28{,}5 \cdot 10^{-3}$ %. Эта величина в 2,85 раза превышает среднее содержание элемента, установленное для почв Земли ($10 \cdot 10^{-3}$ %), и в 1,7 раза больше кларка земной коры. Она также превышает значения кларковых величин большинства главнейших типов горных пород. Все это позволяет предполагать, что повышенное среднее содержание хлора в почвах населенных пунктов связано с антропогенной деятельностью.

Наибольшие средние содержания хлора (Cl) нами выявлены в почвах Минска ($46{,}6 \cdot 10^{-3}$ %), Новороссийска ($37{,}4 \cdot 10^{-3}$ %) и курорта Горячий Ключ ($36{,}7 \cdot 10^{-3}$ %). Наименьшими средними содержаниями из исследуемых нами городов отличаются почвы Абинска с числом жителей менее 100 тыс. ($8{,}4 \cdot 10^{-3}$ %) и курорта Анапы ($18 \cdot 10^{-3}$ %). Какой-либо связи содержаний хлора в почвах населенных пунктов с климатическими условиями, с близостью к морям пока не выявлено.

Среднее содержание кобальта (Co) в почвах населенных пунктов, установленное для начала XXI в. ($1{,}41 \cdot 10^{-3}$ %), в 1,8 раза выше кларка для почв Земли, установленного А. П. Виноградовым ($0{,}8 \cdot 10^{-3}$ %). Однако среднее содержание металла в почвах селитебных ландшафтов меньше кларка земной коры ($1{,}8 \cdot 10^{-3}$ %) и кларков целого ряда горных пород: $15 \cdot 10^{-3}$ % для ультраосновных магматических пород; $4{,}8 \cdot 10^{-3}$ % для основных пород; $2{,}0 \cdot 10^{-3}$ % для глин и сланцев и $1{,}9 \cdot 10^{-3}$ % для сланцев.

Отметим, что, с учетом данных РФА, среднее содержание Co в почвах населенных пунктов может снизиться до $1{,}1 \cdot 10^{-3}$ %. В выборке со средними содержаниями кобальта в почвах отдельных городов, составленной для расчета кларка, было выделено 10 населенных пунктов со средними содержаниями, отнесенными к «ураганным». Они относятся ко всем группам городов, кроме хуторов и небольших поселков. Располагая эти группы по мере уменьшения в них средних содержаний кобальта, получим следующую картину: 1 – курорты ($1{,}81 \cdot 10^{-3}$ %); 2 – города с населением около 1 млн ($1{,}58 \cdot 10^{-3}$ %); 3 – с населением меньше 100 тыс. ($1{,}465 \cdot 10^{-3}$ %); 4 – с населением около 500 тыс. ($1{,}436 \cdot 10^{-3}$ %); 5 – с населением 100–300 тыс. ($1{,}27 \cdot 10^{-3}$ %); 6 – хутора и небольшие деревни ($1{,}07 \cdot 10^{-3}$ %). Как видно из приведенных данных, значительных отличий средних содержаний кобальта в выделяемых группах населенных пунктов не установлено. Абсолютный разброс средних содержаний в этом случае равен 1,7, что является крайне малой величиною по сравнению с АР кларков горных пород и почв континентов (1500).

Небольшая разница в содержаниях Co в почвах населенных пунктов и кларков ряда горных пород и земной коры, а также близость положения металла в таблице Д. И. Менделеева к «линии жизни» позволяют считать, что наблюдаемые сейчас содержания Co в почвах населенных пунктов не должны оказывать отрицательного влияния на живые организмы.

Установленное **кларковое содержание хрома (Cr) в почвах населенных пунктов**, с учетом контрольных анализов, сделанных в арбитражной лаборатории, равно $8 \cdot 10^{-3}$ %. Оно в 2,5 раза меньше кларка для почв Земли, определенного А. П. Виноградовым ($20 \cdot 10^{-3}$ %). Однако кларк почв населенных пунктов лишь не-

много отличается от кларка земной коры ($8{,}3\cdot10^{-3}$ %), близок к кларковым содержаниям сланцев ($9{,}0\cdot10^{-3}$ %), меньше кларков основных ($17{,}0\cdot10^{-3}$ %) и ультраосновных ($160\cdot10^{-3}$ %) магматических пород и больше кларков средних и кислых магматических пород, а также кларков песчаников и карбонатов.

В выборке, составленной из средних содержаний хрома в почвах населенных пунктов, «ураганным» содержанием отличается (по литературным данным) только один г. Ереван, что говорит о довольно равномерном содержании металла в почвах различных селитебных ландшафтах. Довольно равномерно распределены и средние содержания хрома в различных группах населенных пунктов. Об этом можно судить по величине АР, равной 2,1. Отметим, что АР кларков Cr различных горных пород и почв континентов равен 800.

Группы населенных пунктов, по мере уменьшения средних содержаний рассматриваемого металла, выглядят так: 1 – курорты ($8{,}81\cdot10^{-3}$ %); 2 – с населением около 1 млн ($8{,}27\cdot10^{-3}$ %); 3 – с населением меньше 100 тыс. ($8{,}151\cdot10^{-3}$ %); 4 – с населением около 500 тыс. ($5{,}50\cdot10^{-3}$ %); 5 – хуторов и небольших деревень ($5{,}28\cdot10^{-3}$ %); 6 – населенных пунктов с числом жителей 100–300 тыс. ($4{,}22\cdot10^{-3}$ %).

По отношению к положению «линии жизни» хром располагается в таблице Д. И. Менделеева практически рядом (чуть ниже), а поэтому его совсем незначительно повышенное (по сравнению с кларком земной коры) среднее содержание в почвах населенных пунктов не может оказать большого влияния на живые организмы. Так как Cr находится все же ниже «линии жизни», не окажет большого влияния на развитие живого вещества и пониженная почти в 2 раза концентрация этого металла в почвах небольших населенных пунктов, хуторов и городов с населением до 300 тыс.

Среднее содержание в почвах населенных пунктов цезия (Cs) можно принять за величину равную $n\cdot10^{-3}$ %. Данных о содержании элемента в изучаемой системе довольно мало, и средние содержания элемента в почвах отдельных групп городов не рассчитывались. Сами содержания колеблются в очень широком диапазоне от $0{,}6\cdot10^{-3}$ % до $32\cdot10^{-3}$ % – в районе золоотвала ТЭЦ. Мало данных о содержании этого редкого элемента

в почвах различных регионов. Отмечаются отдельные высокие содержания в почвах Канады, Болгарии, на Русской платформе ($1{,}7–4\cdot10^{-3}$ %).

Ожидать интенсивного антропогенного поступления цезия в почвы населенных пунктов, вероятнее всего, в ближайшее время не следует, так как его зарубежная годовая добыча составляет первые десятки тонн. Это является одним из факторов, позволяющих говорить о сравнительно небольшой роли антропогенной деятельности в накоплении элемента в почвах населенных пунктов.

Катион цезия (Cs) обладает наибольшим радиусом среди других простых катионов. По мнению А. И. Перельмана (1972), именно это и определяет ведущую роль сорбционного барьера (особенно сорбции глинами) при концентрации цезия в зоне гипергенеза. Этим же можно объяснить и высокий кларк концентрации элемента в почвах населенных пунктов по отношению к кларку земной коры.

Среднее содержание в почвах населенных пунктов меди (Cu) равно ($3{,}9\cdot10^{-3}$ %). Оно в 2 раза больше кларка для почв Земли ($2\cdot10^{-3}$ %) и мало отличается от кларка земной коры ($4{,}7\cdot10^{-3}$ %) и кларка для сланцев ($4{,}5\cdot10^{-3}$ %). Средние содержания меди в почвах различных населенных пунктов отличаются большим разбросом: от $0{,}37\cdot10^{-3}$ % в г. Ельске (Белоруссия) с населением 10 тыс. до $16{,}5\cdot10^{-3}$ % в г. Донецке (около 1 млн жителей); $24{,}7\cdot10^{-3}$ % в г. Климовске (56 тыс. жителей) и даже до $133{,}1\cdot10^{-3}$ % в районе воздействия Среднеуральского медеплавильного комбината.

В выборке, составленной для расчета кларка меди в почвах селитебных ландшафтов, выделились, по литературным данным, 4 населенных пункта с «ураганными» средними содержаниями. Кроме 3-х перечисленных выше городов, «ураганное» среднее содержание было отмечено в г. Константиновке на Украине с 94 тыс. жителей ($15{,}4\cdot10^{-3}$ %). Следует отметить, что, по данным М. С. Панина, даже в таких населенных пунктах, связанных с добычей медных руд, их обогащением и выплавкой металла, как города Балхаш и Жезказган, содержание в почвах меди не является «ураганным» в указанной выше выборке. Эти содержания соответственно равны 7,4 и $3{,}3\cdot10^{-3}$ %.

Особо следует отметить, что в почвах ряда городов Белоруссии с населением меньше 100 тыс. и от 100 до 300 человек и деревень Томской области содержания меди колеблются в интервале от 0,37 до $1{,}2 \cdot 10^{-3}$ %. Вполне вероятно, что такие концентрации (все они взяты по литературным публикациям) вызвали понижение среднего содержания, не вполне соответствующее почвам всех населенных пунктов. Если эти содержания полностью удалить, а затем в выборке, составленной таким путем снова удалить «ураганные» содержания, то *среднее содержание меди в почвах населенных пунктов станет равным* $4{,}96 \cdot 10^{-3}$ %. Однако мы во всех дальнейших расчетах учитываем все населенные пункты и, соответственно, принимаем кларковым содержание металла равное $3{,}9 \cdot 10^{-3}$ %.

В группах населенных пунктов средние содержания меди не столь контрастны, как содержания в отдельных городах. Так, в почвах рекреационно-туристических центров среднее содержание металла равно $5{,}67 \cdot 10^{-3}$ %; в городах с числом жителей около 1 млн – $5{,}5 \cdot 10^{-3}$ %; в почвах небольших хуторов и станиц – $3{,}4 \cdot 10^{-3}$ %; городов с населением около 500 тыс. – $3{,}0 \cdot 10^{-3}$ %; с населением меньше 100 тыс. – $2{,}82 \cdot 10^{-3}$ %; с населением 100–300 тыс. – $2{,}81 \cdot 10^{-3}$ %.

В геохимической системе, объединяющей почвы населенных пунктов с различным числом жителей, абсолютный разброс средних содержаний меди равен 2. Он почти в 10 раз меньше АР кларков Cu в породах и почвах континентов. По этому показателю различные средние содержания меди в группах городов не могут оказать значительного влияния на развитие живого вещества. Однако «ураганные» средние содержания, отмеченные в отдельных населенных пунктах, несомненно, оказывают воздействие на развитие городской растительности, а следовательно, и на здоровье жителей (Алексеенко, 2011).

Среднее содержание в почвах населенных пунктов железа (Fe) равно $2230 \cdot 10^{-3}$ %. Оно в 1,7 раза меньше кларка металла в почвах Земли ($3800 \cdot 10^{-3}$ %) и в 2 раза меньше кларка земной коры ($4650 \cdot 10^{-3}$ %). Казалось бы, в почвах населенных пунктов содержание железа должно быть значительно больше, но результаты химических анализов, проведенных в двух лабораториях, и результаты рентгенофлуоресцентных анализов (так-

же проведенных в двух лабораториях) показали очень хорошую сходимость, а это позволяет считать правильной установленную величину кларка железа для почв населенных пунктов.

Распределение средних содержаний Fe в почвах различных городов довольно равномерно; обычные колебания составляют $1635–2500 \cdot 10^{-3}$ %. В единичных случаях содержание было больше 3 % и меньше 1,5 %. Какой-либо приуроченности городов с повышенными и с пониженными содержаниями железа в почвах к определенным географическим регионам и морям не выявлено. Не установлены также закономерности изменения средних содержаний металла в почвах городов в зависимости от числа жителей.

Среднее содержание в почвах населенных пунктов галлия (Ga), установленное авторами книги ($1{,}62 \cdot 10^{-3}$ %), в 1,85 раза ниже кларка этого элемента для почв Земли, установленного А. П. Виноградовым. Однако среднее содержание галлия в почвах населенных пунктов близко по величине к кларку земной коры ($1{,}9 \cdot 10^{-3}$ %), а также к кларкам основных и кислых магматических пород ($1{,}7 \cdot 10^{-3}$ %), а также сланцев ($1{,}9 \cdot 10^{-3}$ %) и песчаников ($1{,}2 \cdot 10^{-3}$ %). Все это может рассматриваться как свидетельство того, что галлий, обычно относимый к редким химическим элементам, в начале нынешнего века еще незначительно используется людьми, а следовательно существенного загрязнения почв населенных пунктов галлием пока не произошло.

Распределен галлий в почвах различных групп населенных пунктов довольно равномерно: в почвах небольших станиц и хуторов его содержание равно $1{,}8 \cdot 10^{-3}$ %; в городах с населением около 1 млн жителей – $1{,}74 \cdot 10^{-3}$ %; с населением около 500 тыс. и курортов – $1{,}61 \cdot 10^{-3}$ %; с населением меньше 100 тыс. – $1{,}52 \cdot 10^{-3}$ %, а с населением 100–300 тыс. – $1{,}51 \cdot 10^{-3}$ %.

Абсолютный разброс средних содержаний галлия в различных группах населенных пунктов равен 1,2, что в 16,8 раза меньше АР этого элемента для кларков различных горных пород. Это, а также положение металла относительно «линии жизни» и незначительная разница содержаний кларков земной коры и почв населенных пунктов позволяют считать, что содержание в почвах населенных пунктов галлия не оказывает значительного влияния на развитие живого вещества.

Среднее содержание в почвах населенных пунктов германия (Ge) равно $0{,}18 \cdot 10^{-3}$ %. При его установлении в выборке были выявлены 3 города с «ураганным» средним содержанием металла в почвах. Это Уяр с населением 14 тыс. и содержанием, по литературным данным, $0{,}9 \cdot 10^{-3}$ %, старый г. Текели с полиметаллической обогатительной фабрикой ($0{,}87 \cdot 10^{-3}$ %) и английский г. Лу ($0{,}85 \cdot 10^{-3}$ %).

Кларк германия для почв Земли установлен неточно ($n \cdot 10^{-4}$ %). Сравнение установленной нами величины с кларками земной коры ($1{,}4 \cdot 10^{-4}$ %) и различных типов магматических горных пород, глин и сланцев ($0{,}1 \cdot 10^{-3}$–$0{,}2 \cdot 10^{-3}$ %), позволяет говорить о близости содержаний во всех указанных породах и почвах населенных пунктов. Вероятно, что, как и в случае с ранее рассмотренным галлием, это связано со сравнительно редким использованием германия в процессах техногенеза. Об этом косвенно свидетельствует и практически одинаковая концентрация рассматриваемого химического элемента в почвах различных групп населенных пунктов. Последние выстраиваются в следующий ряд: 1 – с населением менее 100 тыс. ($0{,}26 \cdot 10^{-3}$ %); 2 – курорты ($0{,}19 \cdot 10^{-3}$ %); 3 – города-миллионеры ($0{,}19 \cdot 10^{-3}$ %); 4 – с населением около 500 тыс. ($0{,}16 \cdot 10^{-3}$ %); 5 – в небольших поселках, деревнях ($0{,}159 \cdot 10^{-3}$ %); 6 – с населением 100–300 тыс. ($0{,}158 \cdot 10^{-3}$ %).

Величина АР германия в почвах различных групп населенных пунктов равна 1,6, что в 15,6 раз меньше абсолютного разброса этого элемента для кларков различных горных пород и почв Земли.

Среднее содержание в почвах водорода (H) точно не определено. Его значительное количество связано с водой. В. В. Иванов (1994) считает, что в «нормальной почве, *независимо от ее состава,* содержится около 20 % H_2O, а в растениях и животных – больше 50 %».

Отметим, что в целом особенности распространенности водорода (особенно свободного) в биосфере еще не изучены. Не изучены они и в такой ее части, как почвы. Известно, что распространенность свободного водорода в биосфере (и, в первую очередь, в почвах) определяется целым рядом факторов: эндогенным земным поступлением, бактериальным разложением органического

вещества, окислением металлов, радиолизом H_2O, поступлением из космоса и т. д. В почвах определенное количество водорода может быть сорбировано их частицами.

Аналитическое определение водорода (H) в почвах населенных пунктов, проведенное в лабораториях ЮФУ, позволило считать, что в этой части геохимической системы среднее содержание водорода равно 0,98 %. При этом колебания содержаний происходили от 0,6 и 0,7 % (г. Аделаида и Темрюк) до 1,3–1,5 % (соответственно, в г. Геленджик и Абинск). Учитывая это, а также ранее изложенное, мы приняли за среднее содержание водорода в почвах населенных пунктов величину равную 1,5. Особенности распространенности водорода в почвах населенных пунктов (а тем более в почвах их отдельных групп) пока не изучены.

Вероятно, среднее содержание водорода в почвах Земли также меньше наиболее часто упоминаемой различными авторами величины, равной 3,0 %. Мы условно приняли ее равной 2,3 %. Это позволяет уменьшить и суммарное содержание химических элементов в почвах Земли, получаемое по распространенным в настоящее время данным, со 103 до 102,3 %.

Среднее содержание в почвах населенных пунктов ртути (Hg) равно $0{,}088 \cdot 10^{-3}$ %. Оно в 11 раз больше ее среднего содержания в земной коре ($0{,}008 \cdot 10^{-3}$ %) и в 88 раз больше среднего содержания в почвах Земли, установленного А. П. Виноградовым. В почвах различных городов Hg распределена довольно неравномерно. Так, по литературным данным, в Темиртау и Усть-Каменогорске концентрация металла в почвах равна 37,5 и $7{,}6 \cdot 10^{-3}$ %; в Амурске – $0{,}15 \cdot 10^{-3}$ %; в Павлодаре – $0{,}18 \cdot 10^{-3}$ %; в Челябинске – $0{,}05 \cdot 10^{-3}$ %; в Барнауле – $0{,}005 \cdot 10^{-3}$ %, а в ряде станиц, небольших поселков и городов – $0{,}003 \cdot 10^{-3}$ %. Неравномерно распределена ртуть в почвах и в пределах одного населенного пункта. Как отмечают А. Кабата-Пендиас и Х. Пендиас, в огородах, расположенных в Великобритании в черте города, концентрация Hg составляет $1{,}5 \cdot 10^{-3}$ %, в Канаде – $0{,}11 \cdot 10^{-3}$ %, в Японии – $0{,}24 \cdot 10^{-3}$ %.

Установленное нами среднее содержание для почв населенных пунктов получено после замены всех проб с «ураганными» содержаниями металла.

Отметим сразу, что большой разброс содержаний ртути в почвах характерен не только для населенных пунктов, но и вообще для многих регионов Земли. Например, фоновое содержание элемента в почвах для Подмосковья равно $0{,}06 \cdot 10^{-3}$ % (Петрухин, 1982), для прибрежных почв Черноморского побережья – $0{,}038 \cdot 10^{-3}$ %; для различных регионов США установлены колебания фоновых содержаний от 0,001 до $0{,}09 \cdot 10^{-3}$ % (ссылка В. В. Иванова, 1997 на Х. Шаклетт). Во многом содержания ртути в почвах определяются не только почвоподстилающими породами и антропогенной деятельностью, но и содержаниями органических веществ, железа, серы.

Приводимый В. В. Ивановым Мировой кларк ртути для почв равен $0{,}012 \cdot 10^{-3}$ %, хотя по более раним данным (Bowen, 1979) он был $0{,}006 \cdot 10^{-3}$ %. Вполне вероятно, что это связано как с повышением точности анализов, так и с увеличением антропогенного загрязнения.

Среднее содержание в почвах населенных пунктов калия (К) составляет $1340 \cdot 10^{-3}$ %. Оно практически равно среднему содержанию этого металла в почвах Земли ($1360 \cdot 10^{-3}$ %) и в 1,9 раза меньше кларка земной коры ($2500 \cdot 10^{-3}$ %). По данным В. В. Иванова (1994), «генеральное среднее содержание калия в почвах оценивается в 1,25 %», а «генеральное содержание» калия в почвах нашей страны 1,36 %. Таким образом, установленное нами среднее содержание рассматриваемого металла в почвах населенных пунктов практически не отличается от среднего содержания в почвах за пределами городов. Это может рассматриваться как незначительный антропогенный вклад калия в состав почв в городах. Наиболее высокие (но никак не «ураганные») содержания калия установлены в почвах городов, не объединяемых по географическому положению, числу жителей, близостью к морю. К таким городам относятся Барановичи (Белоруссия), Аделаида (Австралия), Владимир, Москва, Минск. Содержание в их почвах калия (К) колеблется от 1710 до $1300 \cdot 10^{-3}$ %.

Среднее содержание лантана (La) в почвах населенных пунктов равно $3{,}4 \cdot 10^{-3}$ %. Отметим сразу, что оно может несколько измениться, так как при подсчете оказалось, что в почвах целого ряда населенных пунктов La не определялся, а в некоторых

его содержание было ниже предела чувствительности аналитических методов. Установленное содержание несколько меньше кларка почв Земли ($4 \cdot 10^{-3}$ %), приводимого А. П. Виноградовым. Среднее содержание La в почвах населенных пунктов более близко к кларку земной коры ($2{,}9 \cdot 10^{-3}$ %) и к кларкам большинства горных пород, чем кларк почв Земли. Средние содержания лантана в почвах отдельных групп городов не определялось.

В выборке, составленной для определения содержания металла в почвах населенных пунктов, содержания лантана колеблются от $0{,}6 \cdot 10^{-3}$ до $5 \cdot 10^{-3}$ %. Минимальные концентрации установлены в почвах г. Кемерово (по литературным данным), а максимальные – курорта на Марианских островах и г. Иркутска (литературные данные).

Среднее содержание лития (Li) в почвах населенных пунктов ($4{,}95 \cdot 10^{-3}$ %), хотя и в 1,6 раза больше его кларка для почв, установленного А. П. Виноградовым ($3 \cdot 10^{-3}$ %), сравнительно ненамного выше кларка земной коры ($3{,}2 \cdot 10^{-3}$ %) и кларков многих горных пород. В выборке, составленной для определения кларка, городов с «ураганным» средним содержанием лития в почвах выявлено не было, что говорит о довольно равномерном распределении элемента в почвах различных населенных пунктов. Об этом же может свидетельствовать и сравнительно однородное содержание лития в почвах различных групп селитебных ландшафтов. Они, по мере уменьшения средних содержаний, образуют следующий ряд: 1 – города с населением около 500 тыс. ($5{,}25 \cdot 10^{-3}$ %); 2 – курорты ($5{,}12 \cdot 10^{-3}$ %); 3 – хутора и небольшие поселки ($5{,}04 \cdot 10^{-3}$ %); 4 – города с населением 100–300 тыс. ($5{,}03 \cdot 10^{-3}$ %); 5 – с населением меньше 100 тыс. ($4{,}59 \cdot 10^{-3}$ %) и 6 –с населением около 1 млн ($4{,}54 \cdot 10^{-3}$ %). Абсолютный разброс средних содержаний в почвах групп населенных пунктов в рассматриваемой геохимической системе равен всего 1,15, тогда как для кларков Li в горных породах и почвах он равен 132.

Незначительно повышенное среднее содержание рассматриваемого химического элемента в почвах населенных пунктов, расположенного выше «линии жизни», также, как и малая величина АР, свидетельствуют о том, что содержание металла в почвах населенных пунктов в целом пока не оказывает отрицательного воздействия на развитие живых организмов.

Среднее содержание в почвах населенных пунктов магния (Mg) равно $790 \cdot 10^{-3}$ %. Оно незначительно, в 1,3 раза превышает кларковое содержание элемента в почвах Земли и в 2,3 раза меньше кларка земной коры ($1870 \cdot 10^{-3}$ %). Наиболее высокие средние содержания металла были выявлены в почвах городов Пермь, Владимир, Геленджик и Анапа, однако они не относятся к «ураганным» содержаниям. Наиболее низкие средние содержания магния установлены для г. Омска (литературные данные), г. Барановичи (Белоруссия) и г. Светлогорска (бывший Раушенбах). Среднее содержание Mg для почв отдельных групп населенных пунктов не устанавливалось.

Установленное для почв населенных пунктов среднее содержание марганца (Mn) ($72{,}9 \cdot 10^{-3}$ %) меньше его кларка для почв Земли ($85 \cdot 10^{-3}$ %). Оно также меньше кларка земной коры ($100 \cdot 10^{-3}$ %) и кларков наиболее распространенных типов горных пород (за исключением карбонатов).

В выборке, составленной для определения кларка почв селитебных ландшафтов, выделены г. Кельн (Германия) с «ураганным» средним содержанием металла, равным $500 \cdot 10^{-3}$ %, и черноморский курорт Совет Квадже ($300 \cdot 10^{-3}$ %). Однако в ряде городов среднее содержание Mn в почвах существенно повышено относительно установленного нами кларка. К ним относятся Санкт-Петербург, Вена ($150–166 \cdot 10^{-3}$ %) и целый ряд курортов черноморского побережья России (Лазаревское, Лоо, Шепси, Адлер, Мацеста и др.) с содержанием от 140 до $183 \cdot 10^{-3}$ %.

Минимальные средние содержания Mn установлены в небольших городах и деревнях Белоруссии и Украины от 9,9 до $19{,}3 \cdot 10^{-3}$ %.

По мере уменьшения средних содержаний марганца в почвах, отдельные группы населенных пунктов выстраиваются в следующий ряд: 1 – курорты ($112{,}5 \cdot 10^{-3}$ %); 2 – города с миллионным населением ($87{,}05 \cdot 10^{-3}$ %); 3 – с населением около 500 тыс. ($71{,}5 \cdot 10^{-3}$ %); 4 – хутора и небольшие деревни ($67{,}49 \cdot 10^{-3}$ %); 5 – города с населением 100–300 тыс. ($54{,}66 \cdot 10^{-3}$ %), 6 – с населением меньше 100 тыс. ($45{,}75 \cdot 10^{-3}$ %). Величина AP средних содержаний металла в группах населенных пунктов равна 2,5, что значительно меньше разброса его кларковых содержаний в породах и почвах континентов (32,4).

Все изложенное позволяет говорить о незначительно пониженном, но более равномерном распределении средних содержаний марганца в такой техногенной системе, как почвы населенных пунктов, по сравнению с целым рядом природных абиогенных и биокосных (почвы Мира) систем. А так как в таблице Д. И. Менделеева рассматриваемый элемент расположен практически на линии жизни, то на его пониженное содержание в почвах селитебных ландшафтов необходимо обратить внимание.

Среднее содержание в почвах населенных пунктов молибдена (Mo) ($0{,}24 \cdot 10^{-3}$ %) очень близко к кларку почв Земли ($0{,}20 \cdot 10^{-3}$ %); выше кларка земной коры (0,1·10–3 %); кларков магматических пород ($0{,}03–0{,}15 \cdot 10^{-3}$ %), а также осадочных, за исключением сланцев, содержание Mo в которых лишь незначительно выше ($0{,}26 \cdot 10^{-3}$ %). Такое распределение металла может быть связано с двумя основными процессами: 1 – «перекачиванием» растениями с последующим закреплением в почвах и 2 – техногенной металлизацией.

В выборке, составленной для расчета кларковых содержаний, к «ураганным» отнесены средние содержания, характеризующие 4 населенных пункта. К ним относятся г. Ереван ($2{,}5 \cdot 10^{-3}$ %), г. Рубцовск на Алтае и две деревни в Томской области ($1{,}1–1{,}6 \cdot 10^{-3}$ %). Данные о средних содержаниях в почвах этих населенных пунктов взяты из литературных источников. Если бы «ураганные» содержания не были заменены, то среднее содержание в почвах населенных пунктов равнялось $0{,}28 \cdot 10^{-3}$ %.

Еще одно значительно повышенное среднее содержание (но не отнесенное к «ураганным») зафиксировано также в почвах одной из деревень Томской области. Существенно пониженные содержания (меньше $0{,}1 \cdot 10^{-3}$ %) установлены в 4-х населенных пунктах, два из которых являются курортами (Инкерман и на о. Куба), а также поселок на золоторудном месторождении и г. Воркута (по литературным данным).

По мере уменьшения средних содержаний Mo в почвах отдельные группы населенных пунктов располагаются в следующем порядке: 1 – небольшие поселки и деревни ($0{,}37 \cdot 10^{-3}$ %), за счет уже указанных выше больших средних содержаний в Томской области; 2 – города с населением 100–300 тыс. жителей ($0{,}36 \cdot 10^{-3}$ %); 3 – города с населением меньше 100 тыс.

($0{,}26\cdot10^{-3}$ %); 4 – города с населением около 1 млн ($0{,}23\cdot10^{-3}$ %); 5 – города с населением около 500 тыс. ($0{,}22\cdot10^{-3}$ %); 6 – курорты ($0{,}20\cdot10^{-3}$ %).

Величина абсолютного разброса (АР) молибдена для групп населенных пунктов равна 1,9, что в 6,8 раза меньше АР для пород и почв континентов, а следовательно, по этому показателю разброс содержаний металла в почвах разных групп населенных пунктов не должен оказывать влияние на развитие организмов.

Повышенное, по сравнению с кларками горных пород и земной коры, содержание Mo в почвах населенных пунктов также пока вряд ли окажет существенное влияние на организмы, так как в таблице Д. И. Менделеева Mo, хотя и расположен ниже «линии жизни», но удален от нее незначительно.

Среднее содержание в почвах населенных пунктов азота (N), равное $1000\cdot10^{-3}$ %, требует уточнений, так как установлено по сравнительно небольшому числу проб. Оно равно содержанию, используемому А. И. Перельманом для расчета кларков концентрации N в почвах по отношению к земной коре и кларку почв Земли. Уточнение кларка азота для почв населенных пунктов необходимо по двум основным причинам: 1 – считается, что содержание элемента в почвах сильно зависит от климатических условий и 2 – в биосфере, а особенно в техногенных ландшафтах, концентрация N стала определяться внесением удобрений, в основном в виде неорганических соединений.

Среднее содержание в почвах населенных пунктов натрия (Na) равно $580\cdot10^{-3}$ %. Оно близко к кларку почв Земли (меньше в 1,08 раза) и в 4,3 раза меньше кларка земной коры ($2500\cdot10^{-3}$ %). Среди почв, изученных нами населенных пунктов, выделяются повышенными (но не «ураганными») концентрациями металла почвы г. Пермь и курорта Горячий Ключ. Несколько понижено содержание натрия в почвах города-миллионера Минска, таких сравнительно небольших городов как Владимир, Абинск, Барановичи и черноморского курорта Анапа. Установить закономерности связи содержаний в почвах натрия с числом жителей в городах и их географическим положением, включая близость к морю, не удалось.

Среднее содержание в почвах населенных пунктов ниобия (Nb) равно $1{,}57\cdot10^{-3}$ %. А. П. Виноградовым среднее содержание рассматриваемого химического элемента в почвах Земли не было установлено. Содержание, рассчитанное нами, всего в 1,2 раза меньше кларка земной коры ($2\cdot10^{-3}$ %) и близко к содержаниям большей части кларков различных типов горных пород.

Ниобий сравнительно недавно и в небольших количествах стал использоваться при различных техногенных процессах (так называемый «редкий элемент»). В связи с этим его содержание в почвах, в основном, может быть унаследованным от горных пород при определенных количествах металла как «перекачиваемых» растениями в почвы, так и выносимых из них.

В выборке, составленной для определения кларка почв населенных пунктов, городов с «ураганным» средним содержанием не встречено, хотя в 2 городах отмечены повышенные содержания. Это г. Амьен во Франции с числом жителей около 140 тыс. ($3\cdot10^{-3}$ %) и (по литературным данным) г. Междуреченск в Кемеровской области с числом жителей около 100 тыс. ($3{,}35\cdot10^{-3}$ %). Незначительно пониженные содержания отмечены в 3-х населенных пунктах: в казахстанском городе Усть-Каменогорске (около 300 тыс. жителей), в белорусском Борисове (150 тыс. жителей) (содержания в обоих городах по литературным данным) и на курорте на Марианских островах. Таким образом, можно говорить о сравнительно небольшой дисперсии содержаний Nb в почвах населенных пунктов. Это может рассматриваться как косвенное подтверждение об унаследованном, в большинстве случаев, содержании металла в почвах населенных пунктов от почвообразующих (почвоподстилающих) горных пород и о малой роли техногенного поступления ниобия в почвы.

В почвах групп населенных пунктов, объединяемых по числу проживающих жителей, наибольшее среднее содержание Nb ($2{,}4\cdot10^{-3}$ %) установлено для городов с населением 100–300 тыс. Далее, по мере убывания среднего содержания, группы городов располагаются в следующем порядке: 1 – с населением меньше 100 тыс. ($1{,}7\cdot10^{-3}$ %); 2 – с населением около 1 млн ($1{,}67\cdot10^{-3}$ %); 3 – курорты ($1{,}64\cdot10^{-3}$ %); 4 – с населением около 500 тыс. ($1{,}57\cdot10^{-3}$ %); 5 – небольшие поселки, станицы, деревни ($1{,}5\cdot10^{-3}$ %). Абсолютный разброс средних содержаний в поч-

вах групп населенных пунктов, как это видно из приведенных данных, крайне мал (1,6) по сравнению с АР в породах и почвах континентов (700). Это позволяет считать, что по рассматриваемому показателю создание населенных пунктов опасности для развития организмов пока не представляет.

Так как ниобий расположен ниже «линии жизни», уменьшение его среднего содержания в почвах населенных пунктов, по сравнению с кларком земной коры, также не представляет угрозы для развития организмов.

Среднее содержание в почвах населенных пунктов никеля (Ni) рассчитывалось сначала, как и для всех химических элементов, с учетом средних содержаний, характеризующих все населенные пункты. Оно составило $2{,}77 \cdot 10^{-3}$ %. Анализ рассматриваемой выборки средних содержаний Ni в почвах населенных пунктов показал, что целый ряд городов Белоруссии (литературные данные) отличается от всех остальных населенных пунктов аномально низкими концентрациями металла. Его среднее содержание в этих городах обычно находилось в интервале $0{,}27–0{,}5 \cdot 10^{-3}$ %, достигая лишь в одном городе (Солигорске) $0{,}82 \cdot 10^{-3}$ %. Если убрать из подсчета эти города, то, с учетом всех остальных населенных пунктов, **среднее содержание в их почвах станет равным $\mathbf{3{,}3 \cdot 10^{-3}}$ %**. Его и следует считать кларковым на начало XXI в. Отметим, что это содержание превышает среднее содержание по В. В. Добровольскому, в почвах природных ландшафтов.

Установленное среднее содержание в почвах населенных пунктов в 1,76 раза меньше кларка земной коры и в 1,2 раза – кларка почв Земли. Отметим, что по содержанию Ni горные породы различаются весьма существенно: от $2 \cdot 10^{-4}$ % (песчаники) до 0,2 % (ультраосновные магматические). Величина АР в породах континентов равна 1000. Несмотря на это, абсолютный разброс никеля в почвах выделенных групп населенных пунктов равен всего 2,16. Это позволяет считать, что почвоподстилающие породы не оказали существенного влияния на содержание металла в почвах.

По уменьшению средних содержаний никеля в почвах, группы городов располагаются в следующем порядке: 1 – курорты ($3{,}985 \cdot 10^{-3}$ %); 2 – города-миллионеры ($3{,}535 \cdot 10^{-3}$ %); 3 – небольшие поселки, станицы ($2{,}835 \cdot 10^{-3}$ %); 4 – города с населением 300–700 тыс. ($2{,}796 \cdot 10^{-3}$ %); 5 – с населением 100–300 тыс. ($2{,}37 \cdot 10^{-3}$ %); 6 – с населением менее 100 тыс. ($1{,}84 \cdot 10^{-3}$ %).

Среднее содержание в почвах населенных пунктов кислорода (O), равное $49\,000 \cdot 10^{-3}$ %, требует уточнения, так как анализов использовано сравнительно мало. Однако это содержание равно, по В. В. Иванову (1994), среднему содержанию в почвах. Среднее содержание кислорода в земной коре $46\,500 \cdot 10^{-3}$ %. По данным А. И. Перельмана (1972), содержание элемента, в том числе свободного, в различных геохимических системах зависит от очень многих факторов. Достоверная связь содержания кислорода в почвах населенных пунктов с каким-либо антропогенным, или природным фактором, пока не установлена.

Среднее содержание фосфора (P) в почвах населенных пунктов равно $120 \cdot 10^{-3}$ %. Оно в 1,5 раза больше ранее рассчитанного А. П. Виноградовым для почв Земли и почти в 1,3 раза больше кларка земной коры.

Установленное среднее содержание фосфора в почвах населенных пунктов близко к содержанию этого элемента в основных магматических породах ($110 \cdot 10^{-3}$ %) и в 7–1,3 раза превышает кларковые содержания в основных типах других горных пород. Все это позволяет считать, что повышенные содержания P в почвах населенных пунктов связаны в значительной мере с антропогенной деятельностью.

В выборке, для установления кларка P в почвах населенных пунктов, значений со средним содержанием элемента, относимым к «ураганным», не было. В то же время встречались населенные пункты со значительно пониженным содержанием ($33–43 \cdot 10^{-3}$ %). К ним относятся курорты на о. Куба и на Марианских островах, а также (по литературным источникам) г. Новосибирск.

Наибольшим средним, для отдельных групп городов, содержанием отличается группа с населением около 1 млн – $134 \cdot 10^{-3}$ %%. Затем, по мере уменьшения средних содержаний, располагаются следующие группы: 1 – с населением 100–300 тыс. жителей ($132 \cdot 10^{-3}$ %); 2 – небольшие поселки, станицы, деревни ($131 \cdot 10^{-3}$ %); 3 – с населением меньше 100 тыс. ($120 \cdot 10^{-3}$ %); 4 – курорты ($119{,}7 \cdot 10^{-3}$ %); 5 – с населением около 500 тыс. ($108 \cdot 10^{-3}$ %).

Хотя абсолютный разброс кларков фосфора различных горных пород континентов довольно мал – всего 6,5, разброс элемента в почвах различных групп городов еще меньше – 1,2. Это заставляет задуматься о влиянии распределения фосфора (P) в такой системе, как почвы населенных пунктов, на развитие организмов.

Так как в таблице Д. И. Менделеева фосфор находится практически на «линии жизни», его незначительно повышенное кларковое содержание в почвах населенных пунктов не должно оказывать отрицательного воздействия на организмы.

Средним содержанием свинца (Pb) в почвах населенных пунктов, по нашим расчетам, является величина $5{,}45 \cdot 10^{-3}$ %, хотя проведенные контрольные спектральные и рентгенофлуоресцентные анализы в ряде населенных пунктов (особенно в Белоруссии) показали, что в литературных источниках содержание металла в почвах явно занижено в различных группах городов. (Повторное опробование проводилось нами.) В связи с этим, вероятнее всего кларком Pb в почвах населенных пунктов на период с 2010 г. можно считать как минимум $5{,}5 \cdot 10^{-3}$ %. (Вполне возможно и то, что отмеченное нами повышение содержаний металла произошло за последние 2 года). Рассчитанное среднее содержание Pb в почвах селитебных ландшафтов в 5,5 раза выше кларка почв Земли, определенного А. П. Виноградовым ($1 \cdot 10^{-3}$ %) и в 3,4 раза больше кларка земной коры ($1{,}6 \cdot 10^{-3}$ %). Рассчитанный нами кларк превышает более чем в 2 раза и кларки наиболее обогащенных этим металлом типов горных пород – сланцев и глин. Это позволяет говорить о техногенном загрязнении почв населенных пунктов.

При установлении кларка свинца были выявлены 7 населенных пунктов, среднее содержание металла в которых отнесено к «ураганным», оно было заменено при расчете кларка в соответствии с методикой работ. Такими населенными пунктами являются, во-первых, связанные с добычей и переработкой полиметаллических руд: рудничный поселок Текели; выявленный Ю. Е. Саетом поселок около обогатительной фабрики; старая часть г. Текели с обогатительной фабрикой; поселок около Среднеуральского медеплавильного завода; г. Усть-Каменогорск. Во-вторых, курорт Алупка (Украина) и, в-третьих, небольшой город Кропоткин.

Содержания существенно (в 3–5 раз) пониженные, по сравнению с установленным кларком, выявлены в почвах деревень и небольших городов в Томской области, в Белоруссии и редко – в Украине.

Если рассматривать, как изменяется среднее содержание Pb в почвах в зависимости от числа жителей, то группы населенных пунктов будут расположены следующим образом: 1 – города с населением около 1 млн и больше ($6{,}6 \cdot 10^{-3}$ %); 2 – курорты ($5{,}5 \cdot 10^{-3}$ %); 3 – с населением около 500 тыс. ($4{,}6 \cdot 10^{-3}$ %); 4 – с населением 100–300 тыс. ($4{,}3 \cdot 10^{-3}$ %); 5 – с населением меньше 100 тыс. ($3{,}9 \cdot 10^{-3}$ %); 6 – небольшие деревни, столицы, хутора ($2{,}3 \cdot 10^{-3}$ %). Таким образом, устанавливается довольно четкая связь повышения содержаний в почвах населенных пунктов свинца с возрастанием числа проживающих в них людей. (Курорты рассматриваются особо в гл.5.)

Абсолютный разброс металла в почвах различных групп населенных пунктов равен 2,9, что значительно меньше АР в природных системах. Значит, по этому показателю опасности для развития организмов нет. Однако свинец относится к тяжелым металлам, удаленным от «линии жизни». В связи с этим значительное увеличение концентрации металла в почвах населенных пунктов, по сравнению с крупными природными геохимическими системами, опасно для различных живых организмов. При содержаниях, подобных установленным в почвах городов, в природных условиях (полиметаллические провинции) численность видов растений уменьшается в 1,5 раза (Петрунина, Ермаков, 2006). Уменьшается и в природных ландшафтах при техногенном загрязнении их почв свинцом число видов растений и их облик (Алексеенко, 2011).

Среднее содержание рубидия (Rb) в почвах населенных пунктов определялось только по данным рентгенофлуоресцентных анализов и может рассматриваться как приближенное. Оно равно $5{,}8 \cdot 10^{-3}$ % и меньше значений, установленных для почв Земли ($10 \cdot 10^{-3}$ %) и для земной коры ($15 \cdot 10^{-3}$ %). Рассматриваемый элемент относится к редким (редкоиспользуемым) щелочным, и поэтому говорить о его техногенном загрязнении почв большинства населенных пунктов нельзя. Колебания содержаний металла в различных городах и их группах часто могут быть

связаны с геолого-геохимическими особенностями территорий, так как его средние содержания рубидия в различных типах горных пород колеблются (от 0,02 до $20 \cdot 10^{-3}$ %). Может концентрация Rb быть связанной и с содержаниями в почвах своего распространенного геохимического аналога – калия. По крайней мере, о такой связи повышенных содержаний K и Rb можно говорить по имеющимся данным для почв таких городов с населением больше 1 млн, как Москва, Минск и отчасти для курорта минеральных вод г. Горячий Ключ. Это объясняется тем, что Rb относится не только к редким, но и к рассеянным элементам и его собственные минералы неизвестны; атомы этого металла обычно замещают атомы его геохимических аналогов.

Положение Rb относительно «линии жизни» позволяет предполагать, что незначительные колебания его средних содержаний не должны влиять на развитие организм**ов.**

Среднее содержание серы (S) в почвах населенных пунктов равно $120 \cdot 10^{-3}$ %. Оно в 1,4 раза больше кларка почв Земли ($85 \cdot 10^{-3}$ %) и в 2,6 раза больше кларка земной коры ($47 \cdot 10^{-3}$ %). Выше установленного нами среднего содержания серы в почвах населенных пунктов только кларки глин и сланцев (в 2–2,5 раза). Разброс средних содержаний серы (S) в различных почвах по данным многих исследователей довольно велик (от $10 \cdot 10^{-3}$ до $2000 \cdot 10^{-3}$ %). В почвах различных групп населенных пунктов среднее содержание серы изменяется от 160 до $102 \cdot 10^{-3}$ %. Таким образом, разброс средних содержаний серы в почвах в различных частях такой геохимической системы, как почвы населенных пунктов, равен 1,6. Величина АР серы (S) в породах континентов гораздо больше – 12,5, следовательно, неравномерное распределение рассматриваемого элемента в почвах различных групп населенных пунктов пока не представляет угрозы развитию организмов.

По имеющимся данным, большими средними содержаниями серы отличаются такие города, как Пермь, Москва, Владимир, Минск, т. е. населенные пункты с большим числом жителей.

Среднее содержание в почвах населенных пунктов сурьмы (Sb) равно $0{,}1 \cdot 10^{-3}$ %. (Однако эта величина требует уточнения.) Рассчитанное содержание в 2 раза выше кларка земной коры и в 5–10 раз – кларковых содержаний сурьмы в различных магматических породах. Более высокие значения, чем кларк почв населенных пунктов, характерны лишь для глин и сланцев. А. П. Виноградовым кларк Sb в почвах не был установлен. «Ураганные» средние содержания сурьмы в отдельных населенных пунктах были связаны с разработкой, обогащением и выплавкой металлов из полиметаллических руд. К таким населенным пунктам относятся г. Усть-Каменогорск ($3{,}05 \cdot 10^{-3}$ %); старая часть г. Текели, около обогатительной фабрики ($5{,}25 \cdot 10^{-3}$ %); поселок у полиметаллической фабрики, опробованный Ю. Е. Саетом ($25 \cdot 10^{-3}$ %). По литературным данным, резко повышенные содержания сурьмы также характерны для почв г. Новосибирска ($2{,}8 \cdot 10^{-3}$ %) и г. Уяр ($18 \cdot 10^{-3}$ %).

Так как сурьма в таблице Д. И. Менделеева находится значительно ниже линии жизни, ее повышенные содержания представляют опасность для организм**ов.**

Среднее содержание скандия (Sc) в почвах населенных пунктов равно $0{,}9 \cdot 10^{-3}$ %. Оно незначительно превышает величину кларка почв Земли ($0{,}7 \cdot 10^{-3}$ %), приближается к кларку земной коры ($1 \cdot 10^{-3}$ %) и несколько меньше, чем кларки этого элемента в большинстве типов горных пород. Скандий относится к редкоземельным элементам. К настоящему времени установлено всего 5 редко встречающихся, в виде мелких выделений, его собственных минералов. Чаще всего Sc замещает двухвалентное железо и другие редкоземельные элементы. Наибольшие концентрации этого элемента установлены в танталониобатах. Значительные количества металла сосредоточены в бокситах, фосфатах, рудах Ti. Эти подробности о Sc приводятся в связи с тем, что техногенная составляющая в почвах большинства населенных пунктов крайне мала; его годовая добыча за рубежом составляет первые сотни кг. Вероятнее всего, техногенное повышение содержаний скандия в почвах отдельных населенных пунктов связано с разработкой вышеприведенных типов месторождений, транспортировкой и использованием их руд (металла).

В выборке из средних содержаний элемента в почвах населенных пунктов, составленной для определения кларка, проб с «ураганным» средним содержанием не было. Это может объясниться уже изложенной информацией о металле. Однако в 3-х городах было установлено несколько повышенное среднее

содержание скандия в почвах. Это один из центров угольной промышленности г. Междуреченск ($2{,}1 \cdot 10^{-3}$ %), а также города в Новосибирской области Куйбышев ($2 \cdot 10^{-3}$ %) и Барабинск ($1{,}8 \cdot 10^{-3}$ %). Данные средние содержания взяты из литературных источников. Следует также отметить среднее содержание, превышающее установленный нами кларк, на курорте о. Куба ($1{,}5 \cdot 10^{-3}$ %), а также пониженные содержания скандия (Sc) на курортах Марианских островов ($0{,}15 \cdot 10^{-3}$ %) и в английском г. Эксетер ($0{,}43 \cdot 10^{-3}$ %).

В целом же скандий в почвах населенных пунктов распределен довольно равномерно. Об этом можно судить, сравнивая средние содержания химического элемента в выделяемых группах городов: 1 – курорты ($1{,}18 \cdot 10^{-3}$ %); 2 – города с населением меньше 100 тыс. ($1{,}18 \cdot 10^{-3}$ %); 3 – с населением 100–300 тыс. ($1{,}0 \cdot 10^{-3}$ %); 4 – с населением около 1 млн ($0{,}86 \cdot 10^{-3}$ %); 5 – с населением около 500 тыс. ($0{,}84 \cdot 10^{-3}$ %) и 6 – в небольших станицах, поселках, деревнях ($0{,}6 \cdot 10^{-3}$ %). Абсолютный разброс в почвах отдельных групп городов равен 1,9, а в породах и почвах континентов его величина – 30.

Скандий расположен чуть ниже «линии жизни» и его современное содержание в почвах населенных пунктов, так же как и значение АР, не представляет угрозы для развития живого вещества.

Среднее содержание в почвах населенных пунктов кремния (Si) равно $28\,900 \cdot 10^{-3}$ %. Оно установлено по данным рентгенофлуоресцентных и химических анализов проб, значительная часть которых относится к обобщенным, каждая из которых представляет почвы одного населенного пункта (см. раздел 4.2.3, § 3.5). Количество проб в выборке для вычисления среднего содержания в почвах населенных пунктов было вполне достаточным. Среднее содержание кремния в почвах отдельных групп городов, отличающихся по числу жителей, не проводилось.

Установленное нами среднее содержание всего в 1,1 раза меньше кларка почв Земли и практически равно кларковому содержанию в земной коре ($29\,500 \cdot 10^{-3}$ %). В ряде городов (Барановичи и Минск в Белоруссии, Аделаида в Австралии, Светлогорск у Балтийского моря) содержание в почвах кремния больше кларкового для почв Земли. Пониженные содержания кремния (Si) установлены для почв ряда черноморских курортов.

Среднее содержание олова (Sn) в почвах населенных пунктов в начале XXI в. равно $0{,}68 \cdot 10^{-3}$ %. Оно в полтора раза меньше среднего, установленного А. П. Виноградовым для почв Земли ($1 \cdot 10^{-3}$ %), однако в 2,7 раза выше кларка земной коры. Установленное нами содержание также превышает кларки основных типов магматических и части осадочных пород. Несмотря на довольно малую распространенность олова в земной коре, оно давно и довольно широко используется людьми. Все это позволяет считать, что повышенное содержание металла в почвах ряда селитебных ландшафтов связано с техногенезом.

В выборке, составленной для определения кларка почв населенных пунктов, среднее содержание Sn в 3-х городах относится к «ураганным». Это французские города: с населением больше 1 млн – Париж ($2{,}37 \cdot 10^{-3}$ %) и с населением меньше 100 тыс. – Версаль ($2 \cdot 10^{-3}$ %), а также (по данным Ю. Е. Саета) поселок около обогатительной полиметаллической фабрики в бывшем СССР ($3{,}4 \cdot 10^{-3}$ %). Значительно повышенными содержаниями отличаются г. Кронштадт ($1{,}7 \cdot 10^{-3}$ %), а также такие города с населением более 1 млн, как Шэньчжэнь ($1{,}8 \cdot 10^{-3}$ %), Гонконг ($1{,}34 \cdot 10^{-3}$ %) и Аделаида ($1{,}36 \cdot 10^{-3}$ %). Низкими содержаниями в почвах Sn отмечены курорт на о. Куба ($0{,}2 \cdot 10^{-3}$ %), а также (по литературным данным) города Красноярск – $0{,}2 \cdot 10^{-3}$ % (по нашим данным – $0{,}66 \cdot 10^{-3}$ %), Улан-Удэ ($0{,}25 \cdot 10^{-3}$ %), Кемерово ($0{,}2 \cdot 10^{-3}$ %) и в Красноярском крае – Уяр ($0{,}3 \cdot 10^{-3}$ %).

По уменьшению средних содержаний олова группы городов располагаются в следующем порядке: 1 – с населением около 1 млн ($1 \cdot 10^{-3}$ %); 2 – с населением 100–300 тыс. ($0{,}9 \cdot 10^{-3}$ %); 3 – меньше 100 тыс. ($0{,}7 \cdot 10^{-3}$ %); 4 – курорты ($0{,}65 \cdot 10^{-3}$ %); 5 – города с населением около 500 тыс. ($0{,}63 \cdot 10^{-3}$ %); 6 – небольшие станицы, поселки, хутора ($0{,}6 \cdot 10^{-3}$ %).

Величина разброса средних содержаний Sn в почвах по группам городов равна 1,66. Это существенно меньше АР в породах и почвах континентов (20,0), а следовательно разброс содержаний Sn не угрожает развитию живого вещества. Так как олово находится существенно ниже «линии жизни», его повышенные

содержания в среде обитания вредны. Это нужно учитывать при оценке эколого-геохимического состояния населенных пунктов.

Среднее содержание в почвах населенных пунктов стронция (Sr) в начале XXI в. нами определено как $45{,}78 \cdot 10^{-3}$ %. При его установлении было, в соответствии с принятой методикой, заменено одно среднее содержание элемента, отнесенное к «ураганным», в почвах курорта на Марианских островах ($860 \cdot 10^{-3}$ %).

Кроме того, в выборке (по литературным данным) выделился ряд деревень Томской области с аномально низкими средними содержаниями Sr в почвах: от $1{,}4 \cdot 10^{-3}$ до $3{,}8 \cdot 10^{-3}$ %. (В двух деревнях из рассматриваемой группы средние содержания доходили до 5,1 и $5{,}9 \cdot 10^{-3}$ %.) Отметим, что эти содержания намного меньше, чем установленные А. А. Беусом и др. для почв бывшего СССР ($23{,}8–67{,}5 \cdot 10^{-3}$ %) и Х. Т. Шаклетт и др. (1984) для почв США ($15–45 \cdot 10^{-3}$ %). Все это послужило основанием для того, чтобы при определении кларка почв селитебных ландшафтов содержания в почвах этих деревень не учитывать.

Установленное кларковое содержание для почв населенных пунктов в 1,3 раза больше кларка земной коры и в 1,5 раза больше среднего содержания в почвах Земли. Оно практически равно содержанию Sr в сланцах и в 1,3 раза меньше кларка карбонатных пород. Так как многие населенные пункты расположены в районах развития карбонатных и карбонатно-терригенных пород (часто с содержанием рассматриваемого металла больше кларкового), почвоподстилающие породы могли оказать существенное влияние на повышенное содержание металла в почвах этих селитебных ландшафтов.

Отметим также, что Sr пока относится к редкоиспользуемым химическим элементам и вряд ли техногенез мог оказать значительное влияние на повышение содержаний металла в почвах населенных пунктов.

По убыванию средних содержаний стронция в почвах групп городов, последние располагаются в следующем порядке: 1 – курорты ($55 \cdot 10^{-3}$ %); 2 – города с населением 100–300 тыс. ($36{,}5 \cdot 10^{-3}$ %); 3 – с населением около 500 тыс. ($35{,}9 \cdot 10^{-3}$ %); 4 – города-миллионеры ($35{,}8 \cdot 10^{-3}$ %); 5 – с населением меньше 100 тыс. ($32{,}4 \cdot 10^{-3}$ %); 6 – небольшие поселки, станицы ($23{,}1 \cdot 10^{-3}$ %).

Величина АР стронция в почвах групп городов равна 2,38, тогда как в породах континентов она превышает 600. Так Sr в таблице Д. И. Менделеева незначительно удален от «линии жизни», некоторое превышение его содержания в почвах селитебных ландшафтов, по отношению к кларку земной коры, вряд ли представляет большую опасность для организмов.

Среднее содержание в почвах населенных пунктов тантала (Ta), равное $0{,}15 \cdot 10^{-3}$ %, следует считать приблизительным, так как в значительной части проб металл не был определен. Среди литературных данных в упоминаниях о содержании элемента в почвах приводятся цифры, которые заведомо можно относить к «ураганным», например в г. Кемерово содержание дается как $14 \cdot 10^{-3}$ %. По нашим данным, «ураганные» содержания тантала ($5 \cdot 10^{-3}$ %) были отмечены на курортах островов Куба и Марианских.

Среднее содержание, установленное нами, не намного отличается от кларка Ta в земной коре ($0{,}25 \cdot 10^{-3}$ %). Оно также близко к кларковым содержаниям металла в важнейших типах горных пород (от 0,1 до $0{,}42 \cdot 10^{-3}$ %). Такая картина не может объясняться даже потенциально незначительным загрязнением почв, так как ежегодная мировая добыча Ta, по данным различных авторов, не достигает 2000 т.

Материала для достоверной оценки средних содержаний тантала в почвах отдельных групп населенных пунктов мало, и эти данные мы не приводим.

Среднее содержание в почвах населенных пунктов титана (Ti) равно $476 \cdot 10^{-3}$ %. Оно незначительно больше кларка металла для почв Земли ($460 \cdot 10^{-3}$ %) и кларка земной коры ($450 \cdot 10^{-3}$ %). Более высокие кларковые содержания, чем для почв населенных пунктов, характерны для основных магматических пород ($1380 \cdot 10^{-3}$ %).

При рассмотрении почв населенных пунктов как единой геохимической системы бросается в глаза равномерность распределения средних содержаний даже не по группам городов, а по отдельным городам. «Ураганных» средних содержаний титана, характеризующих какой-либо населенный пункт, выявлено не было. Однако в почвах ряда городов отмечается повышенное содержание металла. К ним относятся г. Каир ($647 \cdot 10^{-3}$ %), г. Сочи

(642·10⁻³ %), г. Уяр (600·10⁻³ %), ряд станиц в Краснодарском крае и курортов на черноморском и красноморском побережьях (600–671·10⁻³ %). Пониженными средними содержаниями Ti отличаются почвы г. Новороссийска (276·10⁻³ %), Кельна (200·10⁻³ %), а по литературным данным – г. Усть-Каменогорска (231·10⁻³ %), Искитима и Бердска (80–191·10⁻³ %).

Как уже указывалось, средние содержания титана в почвах большинства населенных пунктов распределены довольно равномерно. И все же группы городов, отличающиеся по числу жителей, отличаются и по средним содержаниям титана в их почвах. Ряд этих групп по мере уменьшения титана в почвах имеет следующий вид: 1 – небольшие поселки, станицы, хутора (558·10⁻³ %); 2 – города с миллионным населением (497·10⁻³ %); 3 – курорты (479,6·10⁻³ %); 4 – города с населением меньше 100 тыс. (448·10⁻³ %); 5 – с населением около 500 тыс. (438·10⁻³ %); 5 – с населением 100–300 тыс. (427·10⁻³ %).

Абсолютный разброс средних содержаний металла в почвах групп равен 1,3, хотя в различных породах континентов его величина – 46. Находится титан немного ниже «линии жизни» и его незначительное повышение в почвах населенных пунктов, как и установленная на начало XXI в. величина АР, не могут оказать отрицательного влияния на развитие живого вещества.

Среднее содержание в почвах населенных пунктов таллия (Tl) по имеющимся данным равно 0,11·10⁻³ %. Эта величина равна кларку земной коры и незначительно меньше кларка средних магматических пород (0,14·10⁻³ %) и сланцев. Таллий относится к числу редких элементов. В конце прошлого века его производство составило за рубежом около 30 т.

В связи с этим антропогенное поступление в почвы населенных пунктов таллия (Tl) вряд ли могло быть значительным. По имеющимся данным в гумусовом горизонте почв на больших территориях (без их ландшафтно-геохимического районирования) (Донбасс, США и др.) содержание металла обычно изменяется от 0,002 до 0,28·10⁻³ % (Смит и др., 1977; Дворников и др., 1976). В указанных случаях повышенные содержания таллия были связаны с рудной минерализацией. Эти примеры подтверждают положение о том, что в почвах большинства на-

селенных пунктов содержание металла не должно существенно отличаться от кларков почвоподстилающих пород.

Обычно почвы населенных пунктов характеризуются средними содержаниями, близкими к 0,1·10⁻³ %. Повышенные содержания отмечены на курорте на Марианских островах (0,35·10⁻³ %), а «ураганные» средние содержания установлены в Казахстане для г. Актау (бывший г. Шевченко) и г. Текели (у обогатительной полиметаллической фабрики), а также в курортном черноморском поселке Кабардинка и в г. Хадыженске (Краснодарский край).

Полученные данные позволяют расположить группы населенных пунктов, по содержанию в их почвах Tl, следующим образом: 1 – города с населением 100–300 тыс. (1·10⁻³ %); 2 – с населением менее 100 тыс. (0,22·10⁻³ %); 3 – курорты (0,109·10⁻³ %); 4 – города-миллионеры (0,103·10⁻³ %); 5 – небольшие поселки, деревни, хутора (0,1·10⁻³ %); 6 – города с населением около 500 тыс. (0,098·10⁻³ %).

Пока в почвах населенных пунктов разброс содержаний таллия в 4 раза меньше АР для пород континентов и не велики его содержания. Однако, учитывая удаленность положения металла от «линии жизни» и возрастание его использования в технике, Tl необходимо уделять особое внимание при изучении почв городов.

Среднее содержание в почвах населенных пунктов ванадия (V) равно (10,49·10⁻³ %) без учета ряда деревень Томской области, в почвах которых, по литературным данным, среднее содержание составляет всего 1,95·10⁻³ %. Установленный кларк почв населенных пунктов незначительно превышает среднее содержание ванадия в земной коре (9·10⁻³ %) и кларк почв Земли, определенный А. П. Виноградовым. Отмечаемые повышенные содержания можно отнести к последствиям антропогенной деятельности в городах. В конце прошлого века мировая (без СССР) добыча V составляла около 30 тысяч тонн, а использовался он как легирующий металл, в резиновой промышленности, в ряде химических производств и т. д. Именно это позволяет в значительной мере отнести как повышенные содержания в почвах населенных пунктов ванадия, так и его сравнительно равномерное распределение в этих почвах к последствиям антропогенной деятельности.

В выборке из средних содержаний V в почвах населенных пунктов (без учета указанных деревень Томской области) выделены 2 пробы с «ураганными» содержаниями. Они характеризуют английский город Плимут и г. Текели (Казахстан). С аномально небольшими средними содержаниями (кроме указанных деревень Томской области) выявлено 10 населенных пунктов: казахстанский г. Актау ($4 \cdot 10^{-3}$ %), украинский Инкерман ($2 \cdot 10^{-3}$ %), курорты островов Куба и Марианских (до $3{,}7 \cdot 10^{-3}$ %), а также по литературным данным г. Новосибирск ($3{,}9 \cdot 10^{-3}$ %) (по результатам наших опробований и анализов – $10 \cdot 10^{-3}$ %); г. Кемерово ($3{,}1 \cdot 10^{-3}$ %); г. Барнаул ($1{,}35 \cdot 10^{-3}$ %) (по результатам наших опробований и анализов – $13{,}5 \cdot 10^{-3}$ %); г. Рубцовск ($1{,}3 \cdot 10^{-3}$ %), г. Искитим ($4{,}84 \cdot 10^{-3}$ %) и Славгород ($1{,}15 \cdot 10^{-3}$ %).

Группы городов, по убыванию средних содержаний V в их почвах выстраиваются в следующий ряд: 1 – курорты ($11{,}54 \cdot 10^{-3}$ %); 2 – города-миллионеры ($10{,}7 \cdot 10^{-3}$ %); 3 – города с населением менее 100 тыс. ($10{,}4 \cdot 10^{-3}$ %); 4 – с населением 100–300 тыс. ($9{,}9 \cdot 10^{-3}$ %); 5 – с населением около 500 тыс. ($7{,}89 \cdot 10^{-3}$ %); 6 – хуторов, небольших деревень ($5{,}0 \cdot 10^{-3}$ %). Абсолютный разброс ванадия в геохимической системе, представленной средними содержаниями металла в почвах групп населенных пунктов равен 1,8. Это значительно меньше величины AP в породах континентов (12,5).

Ванадий в таблице Д. И. Менделеева расположен недалеко от «линии жизни». Значит его относительно повышенное содержание в почвах селитебных ландшафтов, так же, как и небольшая величина AP пока не представляют опасности для развития организмов.

Среднее содержание в почвах населенных пунктов вольфрама (W) равно $0{,}29 \cdot 10^{-3}$ %. Оно в 2 раза больше кларка земной коры и больше кларков важнейших типов горных пород. Ближайшим по значению к установленному нами содержанию является кларк кислых магматических пород бедных Ca ($0{,}22 \cdot 10^{-3}$ %). А. П. Виноградовым кларк W в почвах Земли не был определен. По Г. Боуэну, среднее содержание металла в почвах $0{,}15 \cdot 10^{-3}$ %, при максимальном $8{,}3 \cdot 10^{-3}$ %. В почвах Московской области (по Ю. Е. Саету) содержание W равно $0{,}1 \cdot 10^{-3}$ %. Особо следует отметить, что в США в золе осадков оросительных сточных

вод, по А. Ферра, содержание металла от $4{,}3 \cdot 10^{-3}$ до $18{,}6 \cdot 10^{-3}$ %, а в какой-то мере содержания в сточных водах связаны с содержанием в почвах населенных пунктов.

При определении кларка W в почвах населенных пунктов в выборке было 4 пробы с ураганным содержанием металла (все по литературным данным). Они характеризовали среднее содержание вольфрама в почвах городов Уяр ($18 \cdot 10^{-3}$ %), Улан-Удэ ($5 \cdot 10$–3 %), Междуреченск ($1 \cdot 10^{-3}$ %) и поселок у полиметаллической обогатительной фабрики. Если не заменять эти содержания, как это указано в «Методике работ», а вообще не учитывать «ураганные» содержания, то среднее для почв населенных пунктов уменьшится не намного и станет равным $0{,}25 \cdot 10^{-3}$ %. В связи с этим кларком W для почв населенных пунктов следует считать $0{,}29 \cdot 10^{-3}$ %.

Средние содержания вольфрама в почвах выделяемых городов распределены сравнительно равномерно. AP равен 1,5, а в породах континентов эта величина равна 3,7. Сами группы населенных пунктов по уменьшению средних содержаний вольфрама в почвах образуют следующий ряд: 1 – города с населением около 500 тыс. ($0{,}357 \cdot 10^{-3}$ %); 2 – с населением 100–300 тыс. ($0{,}349 \cdot 10^{-3}$ %); 3 – с населением менее 100 тыс. ($0{,}347 \cdot 10^{-3}$ %); 4 – небольшие станицы, деревни, хутора ($0{,}274 \cdot 10^{-3}$ %); 5 – города-миллионеры ($0{,}270 \cdot 10^{-3}$ %); 6 – курорты ($0{,}243 \cdot 10^{-3}$ %).

Вольфрам расположен ниже «линии жизни» и на значительном удалении от нее. В связи с этим следует обратить внимание на города, в почвах которых содержание W повышено.

Среднее содержание иттрия (Y) в почвах населенных пунктов равно $2{,}34 \cdot 10^{-3}$ %. Оно близко к кларку земной коры ($2 \cdot 10^{-3}$ %) и к кларкам важнейших типов горных пород, но в два с лишним раза меньше кларка Y для почв Земли, установленного А. П. Виноградовым. Иттрий относится к редкоиспользуемым редкоземельным химическим элементам. В конце прошлого века годовая добыча Y_2O_3 составляла около 1000 т, а около 50 % добычи приходится на Китай. Основными потребителями являются Япония, США и Западная Европа. По разным оценкам ежегодная потребность в иттрии может достичь 3000–14 000 т.

Пока в почвах населенных пунктов содержание иттрия практически не отличается от обычных содержаний в биосфе-

ре. Увеличение добычи металла может привести к его неравномерному распределению в почвах городов и поселков, а нужно учесть то, что в таблице Д. И. Менделеева Y находится ниже «линии жизни». Ожидаемое увеличение добычи иттрия (а он уже сейчас используется для получения сверхжаропрочных сплавов, микроволновых устройств, нагревательных элементов, сверхпроводников и т. д.) может привести к существенному изменению экологической обстановки в населенных пунктах. По данным В. Сху, на которые ссылается В. В. Ивановым (1997), повышенное содержание редкоземельных элементов (а главным среди них считается иттрий) приводит *к значительному снижению коэффициента интеллектуальности*. Кроме того, иттрий обладает выраженным *канцерогенным действием*.

В выборке для установления среднего содержания в почвах всех населенных пунктов выделилась всего одна проба с повышенным, но еще не «ураганным», содержанием металла ($5 \cdot 10^{-3}$ %). Она характеризует английский город Плимут. В 4 пробах содержание рассматриваемого химического элемента понижено. Они характеризуют г. Кельн ($1 \cdot 10^{-3}$ %), г. Великий Новгород ($1{,}2 \cdot 10^{-3}$ %, по литературным данным) и два курорта – на Марианских островах и на черноморском побережье, соответственно 0,25 и $1{,}12 \cdot 10^{-3}$ %.

По уменьшению средних содержаний металла в почвах групп населенных пунктов последние располагаются в следующем порядке: 1 – с населением 100–300 тыс. ($3{,}7 \cdot 10^{-3}$ %); 2 – с населением меньше 100 тыс. ($2{,}6 \cdot 10^{-3}$ %); 3 – около 1 млн ($2{,}4 \cdot 10^{-3}$ %); 4 – с населением 500 тыс. ($2{,}3 \cdot 10^{-3}$ %); 5 – курорты ($1{,}87 \cdot 10^{-3}$ %); 6 – небольшие поселки, станицы и хутора ($1{,}75 \cdot 10^{-3}$ %). Абсолютный разброс средних содержаний Y в почвах по группам населенных пунктов равен 2,1, что значительно меньше АР металла в породах и почвах континентов (100).

Рассчитанное нами **среднее содержание иттербия (Yb) в почвах населенных пунктов** равно $0{,}24 \cdot 10^{-3}$ %. Оно в 7,3 раза больше кларка земной коры и в то же время меньше кларков многих из важнейших типов горных пород: средних и кислых магматических пород, а также сланцев, глин и песчаников. А. П. Виноградовым кларк Yb для почв Земли не был установлен, а по данным А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас и H. J. Bowenon равен $0{,}3 \cdot 10^{-3}$ %.

Иттербий относится к редкоиспользуемым лантаноидам, имеющим около 20 собственных минералов. Вряд ли к настоящему времени антропогенная составляющая металла может оказывать существенное влияние на его среднее содержание в почвах населенных пунктов. При его расчете, в выборке со средними содержаниями в отдельных городах, проб с ураганным содержанием не встречено. Пониженными средними содержаниями Yb характеризуются курорт на Марианских островах ($0{,}05 \cdot 10^{-3}$ %) и (по литературным данным) г. Великий Новгород ($0{,}1 \cdot 10^{-3}$ %).

Максимальными средними содержаниями Yb ($0{,}3 \cdot 10^{-3}$ %) отличаются города с населением 100–300 тыс. и менее 100 тыс. Минимальное содержание характеризует почвы городов с населением около 500 тыс. ($0{,}23 \cdot 10^{-3}$ %). Абсолютный разброс в рассматриваемой геохимической системе равен 1,3, а в породах континентов – 14. По уменьшению средних содержаний иттербия в почвах выделенных групп населенных пунктов, последние располагаются в следующем порядке: 1–2 – с населением 100–300 тыс. и менее 100 тыс. ($0{,}3 \cdot 10^{-3}$ %); 3 – хутора, небольшие поселки, станицы, деревни ($0{,}27 \cdot 10^{-3}$ %), 4 – города-миллионеры ($0{,}25 \cdot 10^{-3}$ %); 5 – курорты ($0{,}24 \cdot 10^{-3}$ %), 6 – города с населением около 500 тыс. ($0{,}23 \cdot 10^{-3}$ %).

Среднее содержание в почвах населенных пунктов цинка (Zn) равно $15{,}8 \cdot 10^{-3}$ %. Отметим сразу, что при установлении кларка цинка в почвах населенных пунктов не учитывались аномально низкие концентрации металла (все они по литературным данным) в почвах деревень и городов Белоруссии и Томской области. В почвах этих населенных пунктов содержание металла обычно колеблется от 1,15 до 4,9, достигая лишь в единичных пунктах $7{,}7–10{,}7 \cdot 10^{-3}$ %. Укажем также, что в этих населенных пунктах содержание Zn даже ниже, чем установленный более 50 лет А. П. Виноградовым кларк почв Земли.

В выборке средних содержаний цинка в почвах отдельных городов, составленной для установления кларка, были 5 населенных пунктов с содержаниями, отнесенными к «ураганным». Эти содержания, в соответствии с методикой, при расчетах кларка были заменены на средние.

Основная группа населенных пунктов с «ураганным» средним содержанием связана с добычей и переработкой полезных

ископаемых. К указанной группе относятся следующие: 1 – фосфоритовый рудник в США (по литературным данным – $111 \cdot 10^{-3}$ %); 2 – поселок полиметаллической обогатительной фабрики (по литературным данным – $335 \cdot 10^{-3}$ %); 3 – г. Усть-Каменогорск (по литературным данным – $88{,}8 \cdot 10^{-3}$ %); 4 – район воздействия Среднеуральского медеплавильного завода (по литературным данным – $88{,}7 \cdot 10^{-3}$ %); 5 – «ураганными» содержаниями Zn характеризуется крупный промышленный центр г. Кельн ($100 \cdot 10^{-3}$ %).

Установленное для почв населенных пунктов кларковое содержание цинка в 1,9 раза больше кларка земной коры ($8{,}3 \cdot 10^{-3}$ %), близко к кларкам основных и средних магматических пород и в 3,6 раза больше кларка почв Земли ($5 \cdot 10^{-3}$ %), установленного в середине прошлого века А. П. Виноградовым. Повышенное содержание металла в почвах населенных пунктов связано с антропогенной деятельностью. Его техногенное поступление довольно неравномерно в различных ландшафтно-геохимических условиях, а тем более в ландшафтах населенных пунктов. Этим объясняется большая разница средних содержаний Zn в почвах различных городов и деревень. Отметим, что такая картина характерна вообще для почв (без учета населенных пунктов). Например, в различных регионах США (по данным В. В. Иванова) обычные колебания средних содержаний Zn в почвах от 1,7 до $12{,}5 \cdot 10^{-3}$ %.

В почвах групп населенных пунктов, составленных в зависимости от числа жителей, колебания средних содержаний цинка происходят от 20,1 до 9,2.

Абсолютный разброс средних содержаний в почвах выделяемых групп населенных пунктов составляет 2,3. В породах и почвах континентов величина АР цинка равна 8,67.

По уменьшению средних содержаний цинка в группах выделенных нами населенных пунктов они (населенные пункты) располагаются в следующем порядке: 1 – с миллионным числом жителей ($20{,}1 \cdot 10^{-3}$ %); 2 – курорты ($20 \cdot 10^{-3}$ %); 3 – города с населением около 500 тыс. ($11{,}6 \cdot 10^{-3}$ %); 4 – с населением 100–300 тыс. ($9{,}95 \cdot 10^{-3}$ %); 5 – небольшие станицы и деревни ($9{,}77 \cdot 10^{-3}$ %); 6 – города с населением менее 100 тыс. ($9{,}24 \cdot 10^{-3}$ %).

В таблице Д. И. Менделеева цинк располагается несколько ниже «линии жизни», а поэтому на довольно существенное повышение его средних содержаний в почвах населенных пунктов следует обратить особое внимание.

Установленное н**ами среднее содержание циркония (Zr) в почвах населенных пункт**ов ($25{,}6 \cdot 10^{-3}$ %) в 1,5 раза больше кларка земной коры и в 1,17 меньше кларка почв Земли. Оно также меньше кларка средних магматических пород и близко к величинам кларков сланцев, глин и песчаников. Цирконий, несмотря на высокие кларковые содержания, относится к редким металлам. В конце прошлого века годовая добыча ZrO_2 была немногим больше 600 млн т.

В выборке, составленной для определения кларка почв населенных пунктов, «ураганных» средних содержаний Zr в отдельных городах установлено не было. Максимально высокие средние содержания металла выявлены в г. Амьен (Франция) – $60 \cdot 10^{-3}$ %, в г. Суаньи (Бельгия) – $50 \cdot 10^{-3}$ % и в г. Билефельд (Германия) – $48{,}75 \cdot 10^{-3}$ %. Сравнительно высокое ($41{,}5 \cdot 10^{-3}$ % по литературным данным) характеризует г. Куйбышев в Новосибирской области. Наиболее низкие средние содержания циркония в почвах отмечены на курорте на Марианских островах ($5 \cdot 10^{-3}$ %), в пригороде Барнаула с. Лебяжьем (по литературным данным – $4{,}5 \cdot 10^{-3}$ %), на черноморском курорте Джанхот ($8{,}29 \cdot 10^{-3}$ %). В основной массе городов средние содержания рассматриваемого металла колеблются от 10 до $37 \cdot 10^{-3}$ %.

АР Zr в почвах различных групп населенных пунктов равен 3, что значительно меньше разброса металла в породах континентов (26,3). Сами группы по мере уменьшения средних содержаний металла в их почвах располагаются в следующем порядке: 1 – города с населением 100–300 тыс. ($40 \cdot 10^{-3}$ %); 2 – с населением менее 100 тыс. ($30{,}9 \cdot 10^{-3}$ %); 3 – с населением около 500 тыс. ($33{,}08 \cdot 10^{-3}$ %); 4 – города-миллионеры ($24{,}2 \cdot 10^{-3}$ %); 5 – курорты ($18{,}8 \cdot 10^{-3}$ %); 6 – хутора, небольшие поселки, станицы ($13{,}2 \cdot 10^{-3}$ %).

В таблице Д. И. Менделеева цирконий располагается ниже линии жизни и его повышенным содержаниям необходимо уделять особое внимани**е.**

4.3.3. Некоторые общие закономерности распространенности кларков ряда химических элементов почв селитебных ландшафтов

Для рассмотрения особенностей распространенности кларков химических элементов в земной коре, почвах Земли и населенных пунктов, расположим их (кларки элементов) по декадам (табл. 4.3)*, как это в свое время сделал В. И. Вернадский. В первую декаду попадают элементы с кларками величиной более 10 %. Во вторую – выделены химические элементы с кларками n·1 %, в третью – с $n \cdot 10^{-1}$ %, в четвертую – с $n \cdot 10^{-2}$ %, в пятую – с $n \cdot 10^{-3}$ и т. д.

Сначала обратим внимание на особенность распространенности элементов, составляющих около 98 % массы земной коры и почв. Начнем с первой декады. Содержание **кислорода** в почвах и в земной коре примерно одинаково, хотя можно отметить некоторое возрастание его концентрации в почвах. Наибольшая распространенность **Si** характерна для почв Земли, она на 3,5 % превышает распространенность в земной коре и на 4,0 % – в почвах населенных пунктов. Минимальное содержание кремния в почвах населенных пунктов нельзя объяснить процессами обычного почвообразования (иначе в почвах Земли его было бы меньше, чем в земной коре). Следовательно, такая концентрация, скорее всего, связана с процессами, протекающими в населенных пунктах. Если в процессах почвообразования по В. В. Добровольскому (см. раздел 3.4.4) деятельность человека является всего лишь одним из факторов, то в процессах преобразования почв в условиях селитебных ландшафтов антропогенная деятельность часто становится решающим фактором в поступлении, перемещении и концентрации – выщелачивании веществ.

* В отдельных единичных случаях кларковые содержания брались из более поздних публикаций, чем у А. П. Виноградова. В почвах Земли учтено содержание H, не приводимое А. П. Виноградовым.

Таблица 4.3

Процентное содержание химических элементов, находящихся в различных декадах (с использованием данных А.П. Виноградова)

Table 4.3

The atomic numbers and the percentage abundances of chemical elements in different decades (with using A. P. Vinogradov's data)

Земная кора		Почвы мира		Почвы населённых пунктов	
Нечётно-атомные	Чётно-атомные	Нечётно-атомные	Чётно-атомные	Нечётно-атомные	Чётно-атомные
1	2	3	4	5	6
I. Химические элементы с кларковыми содержаниями >10 %					
–	O (46,5), Si (29,5)	–	O (49,0), Si (33,0)	–	O (49,0), Si (28,9)
Распространённость химических элементов в декаде					
–	76,0 %	–	82 %	–	77,9 %
II. Химические элементы с кларковыми содержаниями n·1 %					
Al (8,05), Na (2,5), K (2,5)	Fe (4,65), Ca (2,96), Mg (1,87)	Al (7,13), H (2,3), K (1,36)	Fe (3,8), C (2,0), Ca (1,37)	Al (3,82), H (1,5), K (1,34), N (1)	Ca (5,38), C (4,51) Fe (2,23)
Распространённость химических элементов в декаде					
13,05 %	9,48 %	10,79 %	7,17 %	7,66 %	12,12 %
Суммарная распространённость химических элементов в декаде					
22,53 %		17,96 %		19,78 %	

Продолжение табл. 4.3

1	2	3	4	5	6
III. Химические элементы с кларковыми содержаниями n·10^{-1} %					
H (1,1), Mn (1)	Ti (4,5)	Na (6,3), N (1)	Mg (6,3), Ti (4,6)	Na (5,8), P (1,2)	Mg (7,9), Ti (4,76), S (1,2)
Распространённость химических элементов в декаде					
0,21 %	0,45 %	0,73 %	1,09 %	0,70 %	1,27 %
Суммарная распространённость химических элементов в декаде					
0,66 %		1,82 %		1,97 %	
IV. Химические элементы с кларковыми содержаниями n·10^{-2} %					
P (9,3), F (6,6), Cl (1,7), Rb (1,5)	Ba (6,5), S (4,7), Sr (3,4), C (2), Zr (1,7)	Mn (8,5), P (8), F (2), Cl (1), Rb (1), V (1)	S (8,5), Ba (5), Sr (3), Zr (3), Cr (2)	Mn (7,29), Cl (2,85), V (1,05)	Ba (8,53), Sr (4,58), Zr (2,56), Zn (1,58)
Распространённость химических элементов в декаде					
0,191 %	0,183 %	0,215 %	0,215 %	0,112 %	0,173 %
Суммарная распространённость химических элементов в декаде					
0,374 %		0,43 %		0,285 %	
V. Химические элементы с кларковыми содержаниями n·10^{-3} %					
V (9), Cu (4,7), Li (3,2), La (2,9), Nb (2), Y (2), Ga (1,9), N (1,9), Co (1,8), B (1,2), Sc (1)	Zn (8,3), Cr (8,3), Ce (7), Ni (5,8), Nd (3,7), Pb (1,6), Th (1,3)	Y (5), La (4), Ga (3), Li (3), Cu (2) B (1)	Ce (5), Zn (5), Ni (4), Pb (1), Sn (1)	Rb (5,8), Cs (n), Li (4,95), B (4,5), Cu (3,9), La (3,4), Y (2,34), Ga (1,62), As (1,59), Nb (1,57), Co (1,41)	Cr (8), Pb (5,45), Ni (3,3)

Продолжение табл. 4.3

1	2	3	4	5	6
Распространённость химических элементов в декаде					
0,0316 %	0,036 %	0,018 %	0,016 %	0,0361 %	0,0168 %
Суммарная распространённость химических элементов в декаде					
0,0676 %		0,034 %		0,0529 %	
VI. Химические элементы с кларковыми содержаниями n·10-4 %					
Pr (9), Tb (4,3), Cs (3,7), Ta (2,5), Br (2,1), As (1,7), Ho (1,7), Eu (1,3), Tl (1)	Sm (8), Gd (8), Be (3,8), Er (3,3), Sn (2,5), U (2,5), Ge (1,4), W (1,3), Mo (1,1), Hf (1)	Co (8), Sc (7), Cs (5), As (5), Br (5), I (5)	Be (6), Hf (6), Th (6), Ge (5), Mo (2), U (1)	Sc (9,4), Ta (1,5), Bi (1,1), Tl (1,1), Sb (1)	Sn (6,8), Be (3,3), W (2,9), Mo (2,4), Yb (2,4), Ge (1,8)
Распространённость химических элементов в декаде					
0,00273 %	0,00329 %	0,0035 %	0,0026 %	0,00141 %	0,00196 %
Суммарная распространённость химических элементов в декаде					
0,00602 %		0,0061 %		0,00337 %	
VII. Химические элементы с кларковыми содержаниями n·10^{-5} %					
Lu (8), Sb (5), I (4), Tm (2,7), In (2,5)	Yb (3,3), Cd (1,3)	Ag (5)	Cd (5)	Ag (4)	Cd (9), Hg (9)
Распространённость химических элементов в декаде					
0,000222 %	0,000046 %	0,00005 %	0,00005 %	0,00004 %	0,00018 %
Суммарная распространённость химических элементов в декаде					
0,000268 %		0,0001 %		0,00022 %	

Окончание табл. 4.3

1	2	3	4	5	6
VIII. Химические элементы с кларковыми содержаниями n·10^{-6} %					
Ag (7)	Hg (8,3), Se (5), Pd (1,3)	–	Hg (1), Se (1)	–	–
Распространённость химических элементов в декаде					
0,000007 %	0,0000146 %	–	0,000002 %	–	–
Суммарная распространённость химических элементов в декаде					
0,0000216 %		0,0000002		–	
IX. Химические элементы с кларковыми содержаниями n·10^{-7} %					
Bi (9), Au (4,3)	–	–	–	–	–
Распространённость химических элементов в декаде					
0,00000133 %	–	–	–	–	–
Суммарные содержания					
Земная кора		Почвы мира		Почвы населённых пунктов	
99,64 %		102,25 %		99,99 %	
Нечётно-атомные	Чётно-атомные	Нечётно-атомные	Чётно-атомные	Нечётно-атомные	Чётно-атомные
13,486 %	86,152 %	11,757 %	90,494 %	8,510 %	91,482 %

Во второй декаде (табл. 4.3) к числу основных изменений, отмечаемых в почвах по сравнению с земной корой, следует отнести «переход» **Na** в третью декаду. Его содержание в почвах Земли и населенных пунктов уменьшилось в 4 раза. Содержание **Mg** в почвах Земли – в 3 раза, а в почвах населенных пунктов – в 2,4 раза.

Содержания водорода и особенно углерода в почвах возросли, и эти элементы вошли во вторую декаду. В почвах Земли содержание **H** возросло в 20 раз, а **C** – в 100 раз; в почвах населенных пунктов возрастание содержаний произошло соответственно в 13,6 и 225,5 раза.

В почвах населенных пунктов также значительно (до 1 %) возрос кларк **N**. Он превысил его содержание в земной коре в 526,3 раза и в 10 раз содержание в почвах Земли.

В результате процессов почвообразования (в целом на Земле и в населенных пунктах отдельно) химические элементы, составляющие около 98 % массы почв и земной коры, могут объединиться в следующие 6 рядов:

1. Земная кора > почв Земли > почв населенных пунктов: **Na, Al, K, Fe.**

2. Земная кора > почв населенных пунктов > почв Земли: **Mg, Si.**

3. Почвы населенных пунктов > земная кора > почвы Земли: **Ca.**

4. Почвы населенных пунктов > почвы Земли > земная кора: **N, C.**

5. Почвы Земли > почвы населенных пунктов > земная кора: **H.**

6. Почвы Земли > земная кора > почвы населенных пунктов: **Mn, Si.**

Судя по приведенным данным, с техногенезом можно во многом связывать повышение в почвах населенных пунктов кларковых содержаний **Ca, N** и **C**, а также формирование минимальных кларков **Na, Al, K, Fe, Mn**. В других случаях процессы техногенеза могли, по нашему мнению, несколько ослаблять тенденцию к «выносу–перераспределению» элементов из земной коры при почвообразовании. Из наиболее распространенных элементов эти процессы, вероятнее всего, про-

явились при миграции-концентрации **Mg**, **Mn**, **H** и, возможно, **Si**.

Судя по имеющимся данным (табл. 4.1, 4.3), процессы почвообразования привели к увеличению содержаний **O** и **Si**, а также к большей неравномерности распределения элементов в соответствующих системах. При этом, как отмечалось выше, антропогенная деятельность в населенных пунктах, скорее всего, «ослабляла» процесс концентрации в почвах кремния.

Исходя из данных, приводимых А. П. Виноградовым и полученных нами (табл. 4.1), можно считать, что в результате почвообразования из твердой части земной коры произошел вынос **Na** и **Mg**, а образующиеся почвы обогатились **C** и **H**. Кроме того, в почвах населенных пунктов существенно (в 500 раз) возросло содержание **N**. Последнее, вероятнее всего, связано с антропогенной деятельностью.

В результате процессов почвообразования произошли также и другие изменения, касающиеся элементов, содержащихся в концентрациях превосходящих 1 %.

Геохимический итог этих процессов в почвах Земли и в почвах селитебных ландшафтов был различен: например, в почвах населенных пунктов суммарное содержание **Fe** и **Al** (6,05 %) значительно (на 4,9 %) меньше, чем в почвах Земли (10,93 %); при этом в почвах населенных пунктов на 4,9 % больше содержание **Ca** и **N**. Все это указывает на существенные отличия почв селитебных ландшафтов и от земной коры, и от почв Земли по содержаниям элементов, составляющих свыше 90 % массы всей геохимической системы. Отметим, что эти химические элементы не только определяют состав основной массы почв населенных пунктов, но и во многом «контролируют» их (почв) химические свойства, а следовательно, контролируют процессы миграции-концентрации значительного числа элементов, чьи содержания составляют доли процента от массы почв. Это делает не только обоснованным, но и необходимым выделение для экологических исследований такой геохимической системы, как почвы населенных пунктов.

На долю рассмотренных выше химических элементов, число которых в земной коре и почвах Земли составляет 8, а в почвах селитебных ландшафтов – 9, приходится в почвах Земли

99,96 %, а в земной коре – 98,53 %, в почвах населенных пунктов – 97,68 %. Эти цифры свидетельствуют о крайней неравномерности распространенности химических элементов во всех рассмотренных крупнейших геохимических системах.

Для дальнейшего выявления особенностей распространенности кларков почв селитебных ландшафтов построим, как это делал А. Е. Ферсман (рис. 3.1) для земной коры, полулогарифмический график (рис. 4.1) с кривыми для кларков «четных» и «нечетных» химических элементов. Анализируя график, можно отметить следующее:

1. Химические элементы распределены в почвах населенных пунктов крайне неравномерно, что также характерно для земной коры и почв Земли.

2. На долю 9 элементов (O, Si, Ca, C, Al, Fe, H, K, N), как уже было показано, приходится 97,68 % массы рассматриваемой геохимической системы. Эти элементы, а также Zn, Sr, Zr, Ba, Pb по отношению к «усредняющей кривой» существенно преобладают. По аналогии с земной корой их можно назвать *избыточными для данной геохимической системы*. Часть их может рассматриваться как «унаследованные» от содержаний в земной коре; другая часть нами объясняется как результат интенсивной антропогенной деятельности в населенных пунктах.

3. Элементы с кларками существенно меньшими, чем это следует из осредняющей кривой отнесены к недостаточным. К ним мы причисляем Li, Be, Sc, Ge, Ag, Hg, а также Ta, Tl, Cd. Большая часть этих элементов относится к редким (редкоиспользующимся при современном уровне развития науки и техники). К ним в настоящее время относятся Li, Be, Sc, Ge, Ta, Tl, т. е. шесть из девяти недостаточных.

4. Ведущим химическим элементом почв населенных пунктов продолжает, как и в земной коре, оставаться кислород.

5. Кларковые содержания элементов в почвах населенных пунктов, как и во всех крупных геохимических системах, неравномерно убывают по мере увеличения их порядковых номеров и атомных масс. Следовательно, развитие организмов в рассматриваемой системе происходит в условиях с преобладанием легких элементов. Это соответствует условиям эволюционного развития живого вещества на Земле. Неравномерность убыва-

ния элементов в определенной мере может быть связана, как отмечено выше, с процессами техногенеза.

6. Закономерность Оддо-Гаркинса, заключающаяся в преобладании среди рядом расположенных элементов четных по порядковому номеру и величине атомной массы, сохраняется для почв населенных пунктов, хотя в определенной мере осложнена техногенезом. Среди рассмотренных кларков на долю четноатомных элементов приходится 91,48 массы почв селитебных ландшафтов (табл. 4.3).

7. Резким преобладанием в почвах населенных пунктов, как и в земной коре, отличаются элементы, атомная масса ведущего изотопа которых кратна четырем: O (16), Si (28), Ca (40), C (12), Fe (56).

8. Рассматривая особенности кларков почв селитебных ландшафтов с учетом гипергенной миграции (Перельман, 1989) отметим, что в этой системе на долю активных воздушных мигрантов (O, H, C, N) приходится 56 %; тогда как по данным А. П. Виноградова, в почвах Земли их содержание 53,4 %, а в земной коре – всего 47,6 %. Это может рассматриваться как увеличение роли атмосферной миграции и отличии ее последствий в почвах населенных пунктов от почв Земли и от земной коры.

9. Среди элементов – водных мигрантов в почвах населенных пунктов – преобладают подвижные катионогенные (Ca, Mg, Na, Sr) с постоянной валентностью и с существенной ролью биогенного накопления. Они составляют в сумме 6,78 %. В почвах Земли содержание этих элементов – 2,67 %. На долю слабоподвижных и малоподвижных, в условиях гипергенеза, катионогенных и анионогенных химических элементов в почвах населенных пунктов приходится меньше 37 %, из которых почти 30 % – вклад одного Si. В почвах Земли слабоподвижные и малоподвижные элементы составляют более 43 %, из которых лишь 33 % приходится на Si. Таким образом, можно говорить о довольно большой разнице в поступлении элементов с водами в почвы и о последствиях водной миграции элементов в почвах Земли и населенных пунктов.

Отличаются почвы населенных пунктов от других геохимических систем различных уровней и по *ассоциации элементов,*

находящихся в повышенных концентрациях. Такая ассоциация устанавливалась при сравнении кларков почв Земли и почв населенных пунктов. Нами в нее были объединены элементы, кларк которых в почвах населенных пунктов в 2 раза и более превосходил кларк почв Земли (табл. 4.1). Такими элементами являются: As (3,2), B (4,5), Ca (3,9), Cl (2,9), Hg (80), N (10), Pb (5,4), Zn (3,2) (в скобках приведены значения кларков концентрации). В природных геохимических системах таких ассоциаций химических элементов, находящихся в повышенных содержаниях, не известно.

Если к выделенным нами элементам добавить еще и те, у которых кларк концентрации незначительно меньше двух, то ассоциация объединит практически все элементы, находящиеся в повышенных концентрациях, станет больше (табл. 4.1) и примет следующий вид: Hg (80), N (10), Pb (5,4), B (4,5), Ca (3,9), As, Zn (3,2), Cl (2,9), Cu (1,9), Cd, Co (1,8), Ba (1,7). Однако и в таком виде она не приблизилась к известным природным ассоциациям элементов, находящихся в повышенных содержаниях в различных геохимических системах. Она отличается от ассоциаций в коренных горных породах на месторождениях полезных ископаемых и во вторичных литохимических образованиях на этих месторождениях, а также от ассоциаций в водах, газах и растительности на месторождениях полезных ископаемых различных типов, даже если не учитывать величины содержаний элементов в ассоциациях. (Алексеенко, 1989, 2000). Выделенная ассоциация в почвах населенных пунктов наиболее близка к ассоциациям в коренных горных породах скарновых медных месторождений и месторождений сульфидного парагенезиса пятиэлементной формации. Однако в первом случае ее объединяет только наличие Cu, Ca, Co, Pb и Zn, т. е. меньше половины элементов. Во втором случае в обеих ассоциациях находятся Co, Ca, Ba, As, Pb, Zn, Cu. Однако в горных породах еще находятся Bi, Ni, Ag, U, F. (Алексеенко, 2000), но отсутствуют Hg, N, B, Cl, Cd. Таким образом, в известных природных системах нет аналогов ассоциации элементов, находящихся в повышенных концентрациях в почвах населенных пунктов.

Не соответствует ассоциация, выделенная в почвах населенных пунктов, и ни одной ассоциации элементов, концентрирую-

щихся на различных (по А. И. Перельману) физико-химических и механических барьерах биосферы.

Мы считаем, что образование рассматриваемой ассоциации явилось результатом совместного воздействия на концентрацию элементов техногенных и природных факторов. Следовательно, необходимо почвы населенных пунктов выделять и как отдельную геохимическую систему по сложным переплетениям природных и антропогенных факторов миграции веществ, приведшим к концентрации в повышенных содержаниях группы рассмотренных элементов.

Выводы

Рассмотренные особенности распространенности химических элементов в почвах населенных пунктов позволяют отметить следующее:

I. Распространенность в почвах населенных пунктов химических элементов в значительной мере унаследовала общие закономерности их распространенности в земной коре и в почвах Земли. К ним, в первую очередь, следует отнести крайнюю неравномерность распространенности; связь содержаний элементов с их атомной массой, приведшую к преобладанию легких элементов; а также преобладание в рассматриваемой геохимической системе четноатомных элементов и особенно элементов с атомной массой ведущего изотопа кратной четырем.

II. На распространенность химических элементов в почвах населенных пунктов оказала несомненное влияние антропогенная деятельность. Мы считаем, что в значительной (первостепенной) мере под влиянием процессов техногенеза в почвах населенных пунктов появились в концентрациях, значительно превышающих кларк почв Земли, относимые к «избыточным для данной системы» такие элементы, как Zn, Pb, Ba, Sr, Ca, Hg, B и др.

III. У таких элементов, как As (3,2), Cd (1,8),Cs (>4), Mo (1,2), N (10), S (1,4), Ti (1,01), V (1,01) (в скобках кларк концентрации для почв селитебных ландшафтов по отношению к кларку почв Земли) средние содержания в почвах населенных пунктов в различной мере больше кларка почв Земли. Сами же кларки почв Земли этих элементов больше кларков земной

коры (табл. 4.1). Все это вместе дает основание для заключения о том, что повышенные средние содержания указанных элементов в почвах селитебных ландшафтов можно рассматривать как результат совместного воздействия процессов общего природного почвообразования (кларки почв у этих элементов больше кларков земной коры) и антропогенной деятельности (среднее содержание в почвах населенных пунктов больше кларка почв Земли). Предварительные данные об относительной роли указанных процессов дает сравнение кларков концентрации почв населенных пунктов относительно почв Земли по отношению к земной коре.

IV. Полученная информация позволяет считать, что в результате различия процессов миграции-концентрации веществ, происходящих в почвах всей Земли и в почвах населенных пунктов, средние содержания значительной части химических элементов в почвах населенных пунктов стали значительно отличаться не только от соответствующих кларков земной коры, но и от средних содержаний, установленных для почв Земли. Эти отличия делают необходимым, для решения многих (в первую очередь экологических) проблем, выделение такой геохимической системы, как почвы населенных пунктов, с установлением для этой системы своих кларковых содержаний.

V. Влияние антропогенной деятельности на поступление, вынос и концентрацию определенных элементов в почвах населенных пунктов постоянно изменяется. Меняется и соотношение процессов общего природного почвообразования и техногенеза. Скорость таких изменений пока установить не удается. В связи с этим необходимо устанавливать кларковые содержания химических элементов в почвах населенных пунктов на определенный временной срез.

VI. Рассчитанные нами средние содержания химических элементов в почвах населенных пунктов (табл. 4.1, прил. 1) **можно считать кларками почв населенных пунктов конца XX – начала XXI веков.**

ГЛАВА V

НЕКОТОРЫЕ ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВ РАЗЛИЧНЫХ ГРУПП СЕЛИТЕБНЫХ ЛАНДШАФТОВ

5.1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Кроме установления кларковых содержаний химических элементов в почвах населенных пунктов, у авторов была еще одна цель: определить средние содержания химических элементов в почвах отдельных групп этих населенных пунктов. За основу выделения таких групп нами, как уже указывалось, было взято число жителей. Такое деление удобно для принятия решений по развитию городов, оно важно и при рассмотрении многих экологических проблем. С точки зрения геохимии выделение групп населенных пунктов тоже обосновано: в селитебных ландшафтах значительная (часто основная) роль в процессах поступления, выноса, миграции и концентрации веществ, принадлежит антропогенным факторам, наряду с которыми, конечно же, продолжают действовать природные факторы. Масштабность, а также количественные и качественные показатели влияния антропогенных факторов на указанные процессы во многом определяются числом жителей. Вспомним, что почвы являются в селитебном ландшафте депонирующей средой, надолго сохраняющей результаты прошедшего техногенеза. Следовательно, по геохимическим особенностям почв выделяемых групп городов (их различиях между собой, отличиям от особенностей земной коры, почв Земли и от кларковых содержаний в почвах населенных пунктов) можно говорить о правильности выбранного показателя для объединения отдельных населенных пунктов и о необходимости проведенного объединения. Рассмотрим это далее.

Как видно из табл. 4.1, величина абсолютного разброса (АР) средних содержаний элементов в почвах отдельных групп населенных пунктов (напомним, что она представляет собой отношение максимального среднего содержания каждого элемента

в одной части системы к минимальному, естественно, в другой части этой же системы; в данном случае максимальные и минимальные содержания представлены средними содержаниями в выделенных группах населенных пунктов) начиная с 2 и более характерна для 18 элементов. К ним относятся As, Ba, Be, Bi, Ca, Cd, Cr, Cu, La, Mn, Ni, Pb, Sc, Sr, Tl, Y, Zn, Zr. Для 5 элементов величина абсолютного разброса больше 4. Это As, Be, Ca, Cd, Tl. Главное же то, что для Bi и Cd величины АР в такой геохимической системе, как почвы населенных пунктов превысили значения АР в породах и почвах континентов. Близко к величине абсолютного разброса в породах и почвах континентов и значение АР в почвах населенных пунктов для Be. Если бы рассматриваемая 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 *однозначно указывает на существенные отличия в процессах концентрации и поступления веществ в депонирующую среду этих селитебных ландшафтов.*

Изменения средних содержаний 18 химических элементов в почвах различных групп населенных пунктов более чем в 2 раза свидетельствует о необходимости разделения такой геохимической системы, как почвы населенных пунктов и о правильности принятого нами подхода к такому разделению.

Посмотрим теперь, средние содержания каких химических элементов находятся в почвах каких групп населенных пунктов в повышенных и пониженных концентрациях. (Выделение произведено путем сравнения групп между собой.) Больше всего (17) элементов с повышенным средним содержанием приурочено к группе населенных пунктов с числом более 700 тыс. жителей, т. е. практически к группе городов-миллионеров (табл. 5.1). Как видно из приведенных данных, подавляющее число химических элементов (88 %) относится к элементам, использование которых, а следовательно и повышенные содержания которых, отвечают уровню развития науки и техники XX в. (Алексеенко, 1992, 2000, 2006). Лишь два (12 %) элемента, Be и Ga, пока относятся к редким, т. е. к элементам следующего уровня раз-

вития науки и техники. С пониженным средним содержанием (относительно других групп) в группе городов-миллионеров находятся всего два химических элемента – Li и W.

Таблица 5.1

Сравнение средних содержаний ряда химических элементов в почвах различных групп населенных пунктов

Table 5.1

The comparison of the average elements concentrations in soils of different group of cities

№ п/п	Группа с числом жителей, деревни, курорты	Элементы с повышенным средним содержанием		Элементы с пониженным средним содержанием	
		число	элементы	число	элементы
1	Более 700 000	17	Ag, As, Be, Bi, Cd, Co, Cr, Cu, Ga, Mn, Ni, P, Pb, Sn, Ti, V, Zn	2	Li,W
2	От 300 000 до 700 000	4	Ba, La, Li, W	11	Ag, As, Mo, Nb, P, Sc, Sn, Ti, Tl, V, Yb
3	От 100 000 до 300 000	11	Ag, Bi, Mo, Nb, P, Sn, Sr, W, Y, Yb, Zr	10	Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ga, Ge, Mn, Ni, Ti
4	Менее 100 000	7	Ge, Nb, Se, Tl, Y, Yb, Zr	10	Be, Bi, Cu, Ga, Li, Mn, Ni, Pb, Sr, Zn
5	Деревни, хутора	4	Be, Ga, Mo, Ti	18	Ag, As, Ba, Bi, Cd, Co, Cr, Ge, Nb, Pb, Sc, Sn, Sr, Tl, V, Y, Zn, Zr
6	Рекреационно-туристические центры	16	As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ge, Li, Mn, Ni, Pb, Sc, Sr, Tl, V, Zn	6	Mo, P, W, Y, Yb, Zr

Неожиданно большое число химических элементов оказалось в относительно повышенных содержаниях в почвах рекреационно-туристических комплексов. Нет на их территории промышленных предприятий. Вероятнее всего, концентрация связана с довольно большим количеством автомобилей на малой площади, а также с гидрохимическими особенностями территорий. Для большинства рекреационно-туристических комплексов характерно наличие различных минерализованных вод, благодаря которому и развиваются эти комплексы. В относительно пониженных концентрациях в почвах рекреационно-туристических центров находятся 6 элементов (табл. 5.1).

Сравнивая средние содержания химических элементов в почвах различных групп населенных пунктов, необходимо выделить населенные пункты с числом жителей менее 100 тыс., а также небольшие деревни, хутора, станицы. В почвах первой из этих групп в относительно повышенных концентрациях находятся 7 элементов и все они относятся к редким. Относительно пониженные содержания в почвах этой группы характерны для 10 элементов (табл. 5.1). В почвах хуторов, небольших станиц и деревень относительно понижены средние содержания 18 химических элементов (максимальное количество), а повышены – всего 4. Это хорошо увязывается с практическим отсутствием в этих населенных пунктах промышленных предприятий.

Более подробно эколого-геохимические особенности каждой из выделенных нами групп населенных пунктов рассматриваются в этой главе дальше. Сейчас же отметим, что объединение населенных пунктов по числу жителей в отдельные группы не только целесообразно с хозяйственно-экономической точки зрения, но и обосновывается специфическими геохимическими особенностями почв населенных пунктов каждой группы.

5.2. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВ ГОРОДОВ С НАСЕЛЕНИЕМ СВЫШЕ 700 ТЫСЯЧ ЧЕЛОВЕК

5.2.1. Общие сведения

В мире значительная часть населения проживает в крупных городах и городских агломерациях с числом жителей от

700–800 тысяч до первых десятков миллионов. Вероятно, тенденция концентрации населения в таких городах продолжится и в ближайшее время. (По крайней мере, в России она существует.) Соответственно, многочисленные экологические проблемы городов-миллионеров будут становиться все более актуальными. Одной из таких экологических проблем является повышение концентрации многих химических элементов в атмосфере, подземных и поверхностных водах, в городской растительности и в городских почвах.

Отметим еще раз то, что почвы в селитебных ландшафтах продолжают оставаться основной депонирующей средой для различных поллютантов. При этом, в соответствии с законом развития эколого-геохимических изменений в ландшафте (Алексеенко, 1993), все изменения, происходившие (и происходящие) в различных частях (ярусах) этой системы, сказываются и в такой ее части, как почвы. Кроме того, как было отмечено выше, изменения (и их последствия) не только скажутся, но и дольше всего сохранятся именно в почвах. В связи с этим геохимические особенности почв городов-миллионеров представляют особый интерес.

Все имеющиеся к настоящему времени данные о геохимических особенностях почв городов с населением более 700 тыс. жителей позволяют считать всю территорию таких городов одной громадной литохимической аномалией для почв Земли. Ее особенностью является комплексность. Ее образуют As, Ba, Cd, Cl, Co, Cu, Hg, Li, P, Pb, S, Zn. Это позволяет говорить о формировании специфической ассоциации химических элементов, находящихся в *значительно повышенных*, по сравнению с почвами Земли, содержаниях в почвах группы населенных пунктов с числом жителей более 700 тыс.: As, Cd, Cl, Co, Cu, Hg, Pb, Zn. Она имеет определенные отличия от ассоциации химических элементов в объединенной выборке, составленной для почв всех населенных пунктов. В ассоциации элементов, находящихся в значительно повышенных содержаниях в почвах городов-миллионеров, появились Cd, Co и Cu. Отличия от соответствующей ассоциации элементов в почвах других групп населенных пунктов рассмотрены в соответствующих разделах 5 главы.

5.2.2. Сравнение с кларковыми содержаниями почв земли

Изучая геохимические особенности почв городов с населением более 700 тысяч, продолжим рассмотрение отличий распространенности в них химических элементов от их распространенности, характерной для почв Земли в целом. Как видно из табл. 5.1, содержание 20 химических элементов (As, Ba, Ca, Cd, Cl, Co, Cu, Hg, K, Li, Mg, Mo, P, Pb, S, Se, Sr, Ti, V, Zn) в почвах городов-миллионеров превышает (иногда незначительно) кларк этих же элементов, установленный А. П. Виноградовым для почв Земли. Кроме того, среднее содержание в почвах рассматриваемых городов определено еще для 6 элементов, кларк почв Земли которых не был установлен. Это Bi, Nb, Ta, Tl, W, Yb. Отметим также, что среднее содержание ряда химических элементов в почвах городов-миллионеров более чем в 2 раза превышает кларк почв Земли (As в 4,9 раза; Cd – в 5,7; Cu – в 2,8; Hg – 29,5; Pb – в 6,6; Zn – в 4 раза). Все это позволяет говорить о существенном (большем, чем для кларка почв всех населенных пунктов) отличии от кларка почв Земли средних содержаний в почвах городов-миллионеров целого ряда химических элементов (табл. 5.2), а также о необходимости при различных экологических исследованиях особо учитывать среднее содержание элементов в почвах городов с населением свыше 700 тыс. Постараемся установить отдельные факторы интенсивного загрязнения почв городов-миллионеров рядом химических элементов по сравнению с почвами всей Земли. Для этого вначале рассмотрим некоторые геохимические особенности и области применения (а значит и потенциального накопления в почвах) химических элементов со значительно повышенными, по сравнению с кларками почв Земли, содержаниями в городах-миллионерах.

Мышьяк (As) относится к нечетноатомным элементам, расположенным ниже «линии жизни», что делает его повышенные концентрации в среде развития живых организмов опасными для них. Используется этот элемент обычно при специфических производствах: в сплавах цветных металлов, в медицине, при изготовлении инсектицидов и ядов в сельском хозяйстве, в электронике, для пропитки древесины и главное – при изготовлении военных отравляющих веществ. В последнем случае

Таблица 5.2

Распространённость химических элементов в почвах городов с численностью населения более 700 тыс. чел. в сравнении с земной корой, кларком почв Земли и кларком почв населённых пунктов (содержание всех элементов в n·10^{-3} % массы)

Table 5.2

The concentrations of chemical elements in the soils of cities with the number of population more than 700 thousand people comparing with the Earth's crust, the Earth's soil cover and urban soils (concentrations of all elements in n·10^{-3} %)

Элемент	Номер элемента	Среднее содержание в почвах городов с численностью населения более 700 тыс. чел.	Кларк земной коры (по А. П. Виноградову)	Кларк концентрации по отношению к земной коре	Кларк почв Земли (по А. П. Виноградову)	Кларк концентрации по отношению к почвам Земли	Кларк почв населённых пунктов	Кларк концентрации по отношению к почвам населённых пунктов
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ag	47	0,043	0,007	6,2	0,050	0,9	0,037	1,2
Al	13	3760,000	8050,000	0,5	7130,000	0,5	3820,000	1,0
As	33	2,460	0,170	14,5	0,500	4,9	1,592	1,5
B	5	–	1,200	–	1,000	–	4,500	–
Ba	56	88,062	65,000	1,4	50,000	1,8	85,312	1,0
Be	4	0,289	0,380	0,8	0,600	0,5	0,326	0,9
Bi	83	0,116	0,001	129,0	–	–	0,112	1,0
Ca	20	1710,000	2960,000	0,6	1370,000	1,2	5380,000	0,3
Cd	48	0,285	0,013	21,9	0,050	5,7	0,090	3,2
Cl	17	27,500	17,000	0,5	10,000	2,8	28,500	0,6
Co	27	1,579	1,800	0,9	0,800	2,0	1,409	1,1
Cr	24	8,275	8,300	1,0	20,000	0,4	8,000	1,0
Cs	55	–	0,370	–	0,500	–	n·1,0	–

Продолжение табл. 5.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cu	29	5,508	4,700	1,2	2,000	2,8	3,897	1,4
Fe	26	1960,000	4650,000	0,4	3800,000	0,5	2190,000	0,9
Ga	31	1,736	1,900	0,9	3,000	0,6	1,619	1,1
Ge	32	0,185	0,140	1,3	0,500	0,4	0,181	1,0
Hg	80	0,030	0,008	3,6	0,001	29,5	0,088	0,3
K	19	1450,000	2500,000	0,6	1360,000	1,1	1340,000	1,1
La	57	1,500	2,900	0,5	4,000	0,4	3,400	0,4
Li	3	4,541	3,200	1,4	3,000	1,5	4,945	0,9
Mg	12	670,000	1870,000	0,4	630,000	1,1	790,000	0,8
Mn	25	87,049	100,000	0,9	85,000	1,0	72,870	1,2
Mo	42	0,228	0,110	2,1	0,200	1,1	0,244	0,9
Na	11	660,000	2500,000	0,3	630,000	1,0	580,000	1,1
Nb	41	1,673	2,000	0,8	–	–	1,570	1,1
Ni	28	3,535	5,800	0,6	4,000	0,9	3,299	1,1
P	15	134,120	93,000	1,4	80,000	1,7	120,047	1,1
Pb	82	6,624	1,600	4,1	1,000	6,6	5,449	1,2
Rb	37	5,830	15,000	0,4	10,000	0,6	5,800	1,0
S	16	160,000	47,000	3,4	85,000	1,9	120,000	1,3
Sb	51	–	0,050	–	–	–	0,100	–
Sc	21	0,863	1,000	0,9	0,700	1,2	0,942	0,9
Si	14	32930,000	29500,000	1,1	33000,000	1,0	28900,000	1,1
Sn	50	0,998	0,250	4,0	1,000	1,0	0,677	1,5
Sr	38	35,818	34,000	1,1	30,000	1,2	45,783	0,8
Ta	73	0,100	0,250	0,4	–	–	0,150	0,7
Ti	22	497,578	450,000	1,1	460,000	1,1	475,792	1,0
Tl	81	0,103	0,100	1,0	–	–	0,114	0,9

Окончание табл. 5.2

1	2	3	4	5	6	7	8	9
V	23	10,695	9,000	1,2	10,000	1,1	10,486	1,0
W	74	0,270	0,130	2,1	–	–	0,288	0,9
Y	39	2,348	2,000	1,2	5,000	0,5	2,335	1,0
Yb	70	0,249	0,033	7,5	–	–	0,243	1,0
Zn	30	20,110	8,300	2,4	5,000	4,0	15,800	1,3
Zr	40	24,394	17,000	1,4	30,000	0,8	25,559	1,0

его повышенные концентрации могут попадать в почву как при изготовлении этих веществ, так и при их утилизации. Основная часть мышьяка добывается попутно при переработке руд цветных и благородных металлов. В местах такой переработки он, как и при транспортировке, может попасть в почвы населенных пунктов.

Исследователи отмечают, что за пределами населенных пунктов содержание As в почвах зависит от их типа. На территории бывшего СССР больше всего его в черноземе, до $1 \cdot 10^{-3}$ % (в среднем $0{,}59 \cdot 10^{-3}$ %). Среднее содержание для почв Земли установленное рядом ученых после сводки А. П. Виноградова таково: А. Кабата-Пендиас и др. – $0{,}87 \cdot 10^{-3}$ %; Х. Боуэн – $0{,}6 \cdot 10^{-3}$ %; А. Коттени – $1 \cdot 10^{-3}$ %.

Загрязнение почв мышьяком довольно распространенный процесс. Он получил развитие, кроме районов с его непосредственным использованием и добычей цветных и благородных металлов, вблизи теплоэлектростанций, в районах добычи и переработки углей, в промышленных районах с химическими заводами и металлообработкой. В результате содержание элемента в почвах таких районов достигает $10n \cdot 10^{-3}$ %. Подвижность As в почвах уменьшается при повышении содержаний Fe и Al.

Кадмий (Cd) расположен в табл. Д. И. Менделеева еще ниже, чем As. В конце прошлого века его годовое потребление составило около 20 тыс. т. Основное использование металла связано с производством аккумуляторных батарей, ряда сплавов, красителей, пластмасс, выпрямителей, специальных стекол. Учитывая перечисленное, можно считать, что современное загрязнение городских почв кадмием возможно практически во всех населенных пунктах. Во многом оно будет зависеть от числа предприятий, использующих Cd даже в незначительных количествах. В больших количествах возможно поступление металла при добыче и обогащении руд свинцово-цинковых, медно-цинковых, колчеданных месторождений.

Данные ряда исследователей о среднем содержании Cd в почвах Земли совпадают с данными А. П. Виноградова, хотя отмечается, что колебания фона под действием техногенеза могут быть довольно большими. При этом подчеркивается отсутствие региональных закономерностей концентрации металла, а значит и связи с опре-

деленными горными породами. На содержание Cd в почвах значительное влияние оказывает его адсорбция на оксидах Fe, Mn, глинистых частицах, органическом веществе. Известковые почвы часто содержат металл в больших количествах.

Рассматривая антропогенное загрязнение почв, исследователи отмечают, что под воздействием определенных процессов концентрация Cd существенно возрастает при радиотехническом производстве до 40, сжигании мусора – 17, производстве ряда сплавов – до 10, цветных металлов – до 8 (все в $n \cdot 10^{-3}$ %). Повышается концентрация металла также в огородах, расположенных в черте города и у обочин шоссе.

Медь (Cu) – нечетноатомный, но довольно распространенный, давно и широко используемый металл. По классификации А. И. Перельмана, Cu в условиях гипергенеза относится к числу катионогенных элементов подвижных и слабоподвижных в окислительной и глеевой обстановках. В таблице Д. И. Менделеева она расположена у самой «линии жизни» и является элементом с существенной ролью в биогенном накоплении.

Производство концентратов меди за рубежом к концу XX в. было около 7,5 млн т в год. Используется металл в электротехнической, металлургической, кожевенной, меховой, текстильной отраслях промышленности, для производства некоторых ядохимикатов, удобрений, катализаторов, монет. Перечисленное позволяет считать, что в почвы всех (а особенно крупных) населенных пунктов идет существенное техногенное поступление металла. Часто повышение содержаний меди в почвах происходит одновременно с повышением содержаний Fe, Mn, Al, кроме того, медь сорбируется глинистыми частицами. Работы, проводимые рядом исследователей после опубликования сводки А. П. Виноградова, показали на незначительное увеличение кларка меди для почв Земли (с 2 до $2{,}4 \cdot 10^{-3}$ %).

Ртуть (Hg) – подвижный, в условиях биосферы – летучий тяжелый металл; располагающийся значительно ниже «линии жизни», а потому при повышенных концентрациях опасный для развития живого вещества. По классификации А. И. Перельмана, в зоне гипергенеза Hg относится к подвижным катионогенным элементам, мигрирующим в кислых и щелочных водах окислительной обстановки.

Ртуть используется довольно широко в электротехнике, приборостроении при производстве щелочей, хлора, уксусной кислоты, Hg-Zn батарей, красителей, золота, серебра, детонаторов, пластмасс, ядохимикатов и т. д. Перечисленные выше, даже только основные, отрасли промышленности дают представление об использовании металла в промышленности и медицине, а следовательно, о возможностях загрязнения почв в населенных пунктах.

В почвах различные соединения ртути могут быть летучи, слабоподвижны, а также растворимы. Во многих случаях концентрация металла в почвах населенных пунктов происходит в верхнем горизонте и зависит не только от техногенного поступления, но и от содержания в почвах органических веществ, железа и серы. Кларк почв, установленный различными авторами после 1960 г., обычно составляет $0{,}0n \cdot 10^{-3}$ %, где «n» обычно равно 1–2. В почвах городских огородов содержание Hg может колебаться от $0{,}1 \cdot 10^{-3}$ % до $1{,}5 \cdot 10^{-3}$ %; в промзоне г. Темиртау установлено содержание $37{,}5 \cdot 10^{-3}$ %. Есть данные о том, что весною, после таяния снега, концентрация Hg в почвах возрастает.

Свинец (Pb) – металл, расположенный значительно ниже «линии жизни», что определяет токсичность его повышенных содержаний. В условиях гипергенеза он (по А. И. Перельману) относится к элементам подвижным и слабоподвижным в окислительной и глеевой обстановках.

В конце прошлого века за рубежом ежегодная добыча концентратов Pb составляла около 2,5 млн т, а это позволяет считать возможным существенное поступление металла в окружающую среду и, в конечном итоге, в почвы. В настоящее время свинец находит очень широкое применение в различных отраслях промышленности. Он используется в различных сплавах, радиационной защите, аккумуляторах, красках, электротехнике, военном производстве, при приготовлении определенных стекол. Многие годы Pb использовался в автомобильном топливе. Хотя сейчас такое использование свинца уже даже практически прекращено, его концентрация в почвах у дорог осталась высокой, а главным загрязнителем окружающей среды в нашей стране продолжает считаться автотранспорт. По данным Н. И. Игнатенко, в придорожных ландшафтах г. Минска сред-

нее содержание металла равно $7{,}16 \cdot 10^{-3}$ %, а даже в промышленной зоне всего – $2{,}67 \cdot 10^{-3}$ %. В г. Ростове-на-Дону фоновое содержание Pb в почвах придорожных ландшафтов в конце прошлого века составляло $5{,}6–5{,}8 \cdot 10^{-3}$ %, а за пределами города – $1{,}4 \cdot 10^{-3}$ % (Алексеенко, 2005). По данным А. Кабаты-Пендиас и др., обобщенным В. В. Ивановым, содержание Pb в верхнем горизонте почв в пригородных районах Англии доходит до $2154 \cdot 10^{-3}$ %, в районах металлообработки в США – до $650 \cdot 10^{-3}$ %; в городских садах США – до 1090, Англии – до 1524, Канады – до 88 (все в $n \cdot 10{-}3$ %). В табл. 5.3 обобщены некоторые данные по содержанию свинца в почвах различных ландшафтов населенных пунктов. Их сравнение с установленными нами концентрациями (табл. 4.1; Алексеенко, 2006) имеет существенные отличия в содержаниях, характеризующих условный город, его центр, жилые районы.

Значения, приведенные В. В. Ивановым, в подавляющем большинстве соответствуют максимальным, а не средним значениям.

Таблица 5.3

Среднее содержание свинца ($n \cdot 10^{-3}$ %) в почвах ландшафтов населенного пункта (обобщенные данные по В. В. Иванову)

Table 5.3

The average lead concentrations ($n \cdot 10^{-3}$ %) in the soils of different urban landscapes (after V. V. Ivanov)

Городской ландшафт	Pb
Фоновое содержание	2,6
Город (в среднем)	26,8
Центр города, испытывающий воздействие различных промзон	24,0
Промзона механического завода	31,0
Жилая территория, примыкающая к механическому заводу	26,0
Промзона электротехнических предприятий	37,0
Поселок, примыкающий к промзоне электротехнических предприятий	27,4
Новый микрорайон, построенный на открытой площадке	10,8
То же, в лесопарковой зоне	19,3

Исследования, проводимые в конце прошлого – начале нынешнего веков, показали на возросшую кларковую концентрацию Pb в почвах в 2,5–4 раза: $2{,}5 \cdot 10^{-3}$ % (А. Кабата-Пендиас и др.), $3{,}5 \cdot 10^{-3}$ % (Г. Боуэн), $4{,}0 \cdot 10^{-3}$ % (Ю. Е. Сает, Л. Н. Овчинников). В почвах свинец связан с глинистыми частицами, органическим веществом, гидроксидами Mn, Fe, Al. В. В. Иванов приводит данные о возможном поглощении металла (в %) хлоритом и вермикулитом до 57 %, каолинитом до 38 %, гидрослюдой – до 9 %.

Цинк (Zn) – четноатомный элемент, находящийся вблизи линии жизни (несколько ниже ее), более распространенный в земной коре и в почвах Земли, чем ранее рассмотренные As, Cd, Cu, Hg и Pb. В основном цинк используется для защиты ряда металлов от разрушения в условиях биосферы (цинкование), а также для создания сплавов различных металлов, аккумуляторов, полупроводников, для добавок к резине, в медицине. В конце XX в. за рубежом было произведено за год около 5 млн т концентратов. Все эти данные свидетельствуют о больших возможностях техногенного поступления металла в почвы населенных пунктов.

В почвах цинк подвижен и, по классификации А. И. Перельмана, относится к химическим элементам подвижным и слабоподвижным в окислительной и глеевой обстановках зоны гипергенеза. Цинк даже в условиях биосферы хорошо сорбируется минеральными (Al, Mg, Fe, Mn) и органическими соединениями. Опытными работами (Алексеенко, Пузанкова, 1973) было установлено, что сорбированный Zn может в дальнейшем изоморфно переходить в минерал-хозяин, вытесняя соответствующие элементы. Так в доломите (Ca, $Mg[CO_3]_2$) цинк, замещая Mg, в лабораторных условиях изменил свое содержание в минерале с 0,035 до 0,4 %. Под влиянием различного воздействия ряда внешних факторов содержание металла в почвах может изменяться в широких пределах: в США (по В. В. Иванову) – от 1,7 до 12,5; на Русской платформе – от 1,6 до 6,3 (все в $n \cdot 10^{-3}$ %). На Западной Кубе содержание Zn доходит до $71 \cdot 10^{-3}$ %.

Под воздействием техногенеза содержание металла в почвах иногда (правда, пока установлен один случай) возрастает до $2700 \cdot 10^{-3}$ % (в г. Каменск-Шахтинский). Уточнение кларка

почв Земли практически не изменило его содержания, установленного А. П. Виноградовым.

Далее постараемся рассмотреть по имеющимся данным и установить некоторые факторы, определяющие значительно повышенные средние содержания химических элементов в отдельных городах с населением свыше 700 тыс. жителей, по сравнению с кларком почв Земли.

Среднее содержание мышьяка (As) в почвах группы городов с населением около миллиона ($2{,}46 \cdot 10^{-3}$ %) в 49,2 раза больше (табл. 5.2) его кларкового содержания для почв Земли ($0{,}05 \cdot 10^{-3}$ %). Средние содержания в почвах отдельных городов рассматриваемой группы распределяются сравнительно равномерно. Минимальное содержание (по литературным данным) характеризует почвы г. Новосибирска ($0{,}59 \cdot 10^{-3}$ %). Затем следуют почвы городов Каир ($1{,}67 \cdot 10^{-3}$ %), Санкт-Петербург и Аделаида ($2 \cdot 10^{-3}$ %).

Максимальное среднее содержание мышьяка установлено в почвах г. Гонконга ($3{,}6 \cdot 10^{-3}$ %). Затем, по мере уменьшения средних содержаний, следуют города Лондон, Пекин, Шэньчжэнь и Красноярск, с содержаниями в почвах As $3{,}4–2{,}9 \cdot 10^{-3}$ %.

Средние содержания мышьяка в почвах городов рассматриваемой группы обычно колеблются в узком интервале $2–3 \cdot 10^{-3}$ %. Довольно равномерное распределение в почвах большинства городов рассматриваемой группы повышенных, по сравнению с кларком почв Земли, средних содержаний мышьяка можно объяснить примерно одинаковым использованием в крупнейших городах определенных сплавов As с цветными металлами, ядов для уничтожения грызунов, а также подобным развитием предприятий по производству стекла, электроники и пропитке древесины.

Относительно небольшие превышения средних содержаний мышьяка в почвах городов Гонконг, Лондон, Пекин и Шэньчжэнь, по сравнению с почвами большинства городов-миллионеров, вероятнее всего, можно объяснить значительным (даже для этой группы городов) количеством промышленных предприятий, в том числе производящих электронное оборудование. Минимальные содержания As в почвах г. Новосибирска (литературные данные), по которым он единственный отлича-

ется от обычных содержаний элемента в почвах городов с населением более 700 тыс. жителей ($2–3 \cdot 10^{-3}$ %), скорее всего, связаны с недостаточной густотой отбора проб и с используемыми аналитическими приборами.

Среднее содержание кадмия (Cd) в почвах крупнейших городов равно $0{,}29 \cdot 10^{-3}$ %, что в 5,7 раза больше кларка металла в почвах Земли ($0{,}05 \cdot 10^{-3}$ %). Распределены средние содержания металла в почвах отдельных городов группы следующим образом: минимальные содержания установлены для городов Самара – $0{,}015 \cdot 10^{-3}$ % и Новосибирск – $0{,}025 \cdot 10^{-3}$ %, а максимальные – для Алматы ($0{,}77 \cdot 10^{-3}$ %) и Челябинска – $0{,}69 \cdot 10^{-3}$ % (все содержания по литературным данным). Обычны колебания средних содержаний кадмия в почвах изученных нами городов-миллионеров в интервале $0{,}25–0{,}50 \cdot 10^{-3}$ %. В различных регионах в почвах Земли фоновые содержания, Cd изменяются от 0,001 до $0{,}05 \cdot 10^{-3}$ %, а более высокие содержания по мнению А. Кабаты-Пендиас и Х. Пендиас (1989), вероятно, имеют антропогенное происхождение. Это мнение подтверждается и нашими исследованиями, а наибольшее антропогенное воздействие на увеличение содержаний металла (отметим еще раз, что в подавляющем большинстве городов разброс средних содержаний Cd относительно невелик) связано с численностью населения и с техногенезом, характерным для городов с населением свыше 700 тыс. человек.

Больше всего, по данным А. А. Беуса и др., кадмия используется в радиотехническом производстве ($40 \cdot 10^{-3}$ %); при производстве сплавов ($10 \cdot 10^{-3}$ %), цветных металлов ($8 \cdot 10^{-3}$ %), лакокрасочных изделий ($1{,}2 \cdot 10^{-3}$ %); а также выделяется при сжигании мусора ($17 \cdot 10^{-3}$ %) (в скобках, по В. В. Иванову, концентрация металла в почвах около указанных предприятий). Наибольшее содержание Cd отмечено в почвах г. Алматы. Как и в других городах-миллионерах, здесь развиты машиностроение, легкая, тяжелая и пищевая промышленность, переработка нефти и металлургия. Атмосферная миграция элементов в городе затруднена, что в итоге может вызвать повышенную концентрацию осаждающихся элементов в почвах. Однако под влиянием этого фактора в почвах Алматы должны были бы существенно повыситься содержания многих элементов, а не только кадмия.

Отметим еще раз, что приведенное среднее содержание Cd в почвах города взято из литературных источников.

В г. Челябинске развиты обычные для городов-миллионеров предприятия, в том числе связанные с радиоэлектроникой, химическим, машиностроительным и т. д. производством. Но, в отличие от других городов группы, в Челябинске преимущественное развитие (свыше 70 %) получили производство готовых металлических изделий и металлургия. Вероятнее всего, это обусловило повышенные концентрации Cd в городских почвах. Укажем еще раз, что среднее содержание Cd в почвах городов-миллионеров выше, чем содержание в других группах населенных пунктов в 1,7–15,8 раза. Все это еще раз подтверждает правильность объединения городов с населением свыше 700 тыс. в отдельную группу.

Среднее содержание меди (Cu) в почвах групп городов с населением более 700 тыс. равно $5{,}5 \cdot 10^{-3}$ % и в 2,8 раза больше кларка всех почв Земли (табл. 5.2). В рассматриваемых почвах медь распределена (в группе городов) сравнительно равномерно: при ее среднем содержании для почв всей группы, равным 5,5, средние содержания металла в почвах отдельных городов-миллионеров обычно изменяются от $4 \cdot 10^{-3}$ % до $7 \cdot 10^{-3}$ %. Минимальные средние содержания отмечены в Минске ($0{,}728 \cdot 10^{-3}$ % по литературным данным) и в Новосибирске ($3{,}3 \cdot 10^{-3}$ % по литературным данным). По данным опробования и анализа почв, проведенных нами, среднее содержание меди в почвах Минска равно $5{,}7 \cdot 10^{-3}$ %, а в почвах Новосибирска – $4 \cdot 10^{-3}$ %. Максимальные содержания металла отмечены в почвах городов Аделаида – $8{,}4 \cdot 10^{-3}$ % (Австралия), Гонконг – $7{,}95 \cdot 10^{-3}$ %, Пекин – $7{,}8 \cdot 10^{-3}$ % и Красноярск – $7{,}7 \cdot 10^{-3}$ % (по литературным данным в Красноярске содержание – $4{,}5 \cdot 10^{-3}$ %).

Особенности промышленного развития городов с повышенным содержанием в почвах меди (правда незначительным по отношению к среднему в группе) для Гонконга и Пекина уже рассматривались в этом разделе книги. Город Аделаида, как и Гонконг, является одним из немногих в группе городом-портом. В нем развиты автомобильная, оборонная и электронная промышленности. Все эти особенности развития техногенеза могли привести к отмечаемому незначительному, по отношению к среднему

в группе, повышению содержаний в почвах меди. Подобные особенности г. Красноярска (развитие машиностроения, металлообработки, химической, металлургической, деревообрабатывающей и т. д. промышленности), также, вероятнее всего, повлияли на некоторое увеличение содержания в почве города Cu.

Учитывая довольно равномерное распределение средних содержаний меди в почвах различных городов, образующих рассматриваемую группу, можно считать, что повышенные содержания металла обусловлены, как это было с уже рассмотренными As и Cd, общими факторами техногенеза, характерными для группы городов с населением свыше 700 тыс. Основным из этих факторов является специфическая антропогенная деятельность с широким использованием различных сплавов Cu, катализаторов и, возможно, с развитием текстильной, меховой и кожевенных отраслей промышленности.

Данных о *средних содержаниях ртути (Hg)* в почвах различных населенных пунктов для установления средних содержаний характеризующих почвы выделенных групп мало. Однако в почвах городов-миллионеров (в основном по литературным данным) среднее содержание металла равно $0{,}03 \cdot 10^{-3}$ %. Эта величина превышает мировой кларк почв, который, по данным В. В. Иванова, равен $0{,}012 \cdot 10^{-3}$ %. Укажем, что большинство исследователей отмечает большой разброс содержаний Hg в почвах и без учета почв населенных пунктов: от $0{,}00n \cdot n$ до $0{,}0n \cdot 10^{-3}$ %.

Среднее содержание свинца (Pb) в почвах группы крупнейших городов равно $6{,}62 \cdot 10^{-3}$ %, что значительно превышает кларк почв Земли ($1 \cdot 10{-}3$ %). Распределены средние содержания металла в почвах отдельных городов группы крайне неравномерно. Минимальное среднее содержание Pb, по литературным данным, характеризует г. Самару ($0{,}15 \cdot 10^{-3}$ %), затем следует вьетнамский город Дананг ($0{,}36 \cdot 10^{-3}$ % по литературным данным), города Красноярск (по литературным данным $1 \cdot 10^{-3}$ %, а по результатам наших опробования и анализов – $5{,}5 \cdot 10^{-3}$ %), Минск (литературные данные $1{,}17 \cdot 10^{-3}$ %, наши $5 \cdot 10^{-3}$ %) и Ереван (литературные данные – $2{,}3 \cdot 10^{-3}$ %).

Максимальные средние содержания установлены в городах Неаполь, Палермо, Гамбург (соответственно, $26{,}2 \cdot 10^{-3}$ %,

$25{,}3 \cdot 10^{-3}$ %, $21{,}8 \cdot 10^{-3}$ %; все по литературным данным), Кельн ($20 \cdot 10^{-3}$ %), Санкт-Петербург ($15{,}8 \cdot 10^{-3}$ %), Париж ($14{,}57 \cdot 10^{-3}$ %), Лондон ($13{,}1 \cdot 10^{-3}$ %, по литературным данным – $29{,}4 \cdot 10^{-3}$ %), Гонконг ($9{,}8 \cdot 10^{-3}$ %). Все они, как «ураганные», были заменены в соответствии с принятой методикой. Обычные колебания средних содержаний свинца в почвах крупнейших городов происходят в интервале $3–8 \cdot 10^{-3}$ %. Если даже не учитывать минимальные содержания Pb, полученные по официальным данным, то и в этом случае разброс средних содержаний металла в почвах городов группы, по отношению к среднему для почв городов-миллионеров, больше, чем это было для ранее рассмотренных элементов: от 6,6 до $20 \cdot 10^{-3}$ %.

Города, в почвах которых отмечены наибольшие средние содержания, расположены в различных климатических зонах, в различной удаленности от морей, в районах с различной геологической ситуацией. Объединяет их, по нашему мнению, только принадлежность к группе крупнейших городов. От других городов рассматриваемой группы их могут отделять некоторые особенности техногенеза. Кельн, как и Санкт-Петербург, является крупнейшим промышленным центром и важным транспортным узлом. В этих городах получили развитие машино и автомобилестроение, химическая и т. п. промышленности. Комплекс этих техногенных факторов, влияющих на поступление химических элементов в почвы, вероятнее всего, явился причиной существенно повышенных содержаний Pb в почвах Кельна и Санкт-Петербурга. Особенности развития промышленности в Лондоне и Гонконге уже рассматривались в этом разделе, а вот Париж следует выделить особо.

В Париже, некогда бывшем крупным промышленным центром, к настоящему времени нет тяжелой промышленности. Около 85 % населения города (по официальным данным) занято в сфере услуг. И все же в его почвах содержание свинца аномально высокое, даже для группы городов-миллионеров с развитой промышленностью. Опробование почв скверов и парков в центре Парижа также показало высокое содержание металла. Это позволяет говорить о довольно продолжительном сохранении повышенных содержаний свинца, поступившего ранее в почвы, даже при последующем его минимальном поступлении.

Среднее содержание цинка (Zn) в почвах группы городов с населением более 700 тыс. ($20{,}1 \cdot 10^{-3}$ %) в 4 раза выше кларка почв Земли, что представляет довольно существенное обогащение почв городов металлом. Городом с минимальным средним содержанием ($2{,}99 \cdot 10^{-3}$ %) является, по литературным данным, г. Минск (По данным нами проведенных исследований с двойным контролем в арбитражных лабораториях содержание равно $7{,}9 \cdot 10^{-3}$ %.) По мере увеличения средних содержаний далее располагаются почвы городов Самары – $3{,}7 \cdot 10^{-3}$ % (литературные данные) и Новосибирска – $5{,}23 \cdot 10^{-3}$ % (– это литературные данные, а по нашим данным содержание Zn в почвах Новосибирска $9{,}0 \cdot 10^{-3}$ %).

Города рассматриваемой группы с максимальным содержанием металла в почвах по мере его уменьшения (от 52 до $28 \cdot 10^{-3}$ %) располагаются в следующем порядке: Гамбург (по литературным данным), Красноярск, Шэньчжэнь, Санкт-Петербург, Каир, Гонконг. Какого-либо признака, по которому объединяются эти города (кроме численности населения), мы не нашли. Они располагаются в различных климатических зонах, есть среди них расположенные у морей (различных) и в центре континентов; есть сибирские, южноазиатские и североафриканские.

Наиболее часто средние содержания цинка в почвах отдельных городов-миллионеров колеблются от 10 до $25 \cdot 10^{-3}$ %. Укажем на то, что содержания Zn в почвах различных регионов Земли (даже без учета почв населенных пунктов) также подвержены большим колебаниям. Так, напомним еще раз, что в США (В. В. Иванов, 1996) содержание металла в различных районах изменяется от 1,7 до $12{,}5 \cdot 10^{-3}$ %. По данным Ю. Е. Саета и др. в почвах степных ландшафтов Крыма цинка содержится $20 \cdot 10^{-3}$ %, при кларке равном $5 \cdot 10^{-3}$ %. Такие колебания отмечены и для почв многих других регионов.

Большой разброс средних содержаний цинка в почвах крупнейших городов, по нашему мнению, может быть связан с совместным воздействием на концентрацию металла общих геохимических свойств Zn, процессов техногенеза и особенностями самих почв (напомним, что даже без отмеченного техногенного воздействия, максимальное содержание может превышать минимальное в одном и том же крупном регионе более чем в 7 раз.

Если же сравнивать различные регионы, то эта величина может возрасти до десятков раз).

Сравнение средних содержаний химических элементов в почвах группы городов-миллионеров с кларками этих элементов в почвах Земли позволяет еще раз отметить некоторые особенности почв рассматриваемых населенных пунктов:

• Содержание подавляющего большинства химических элементов в почвах группы городов с населением более 700 тыс. превышает их кларковое содержание в почвах Земли, а средние содержания шести химических элементов превосходят кларк почв Земли в 2,8–29,5 раза даже после замены ураганных проб. Это Cu, Zn, As, Cd, Pb и Hg.

• Детальное рассмотрение распространенности этих шести элементов в почвах отдельных городов рассматриваемой группы позволило выделить города с аномально низкими и высокими средними содержаниями каждого элемента. Анализ расположения городов-миллионеров с аномально высокими средними концентрациями указанных выше химических элементов показал, что объединяет эти города только специфика антропогенной деятельности, обусловливаемая числом проживающих в них людей.

• Разброс средних содержаний химических элементов в почвах городов с населением свыше 700 тыс. иногда меняется в широких пределах. Однако для основного количества городов (без учета единичных населенных пунктов с минимальными и максимальными содержаниями в почвах) размах колебаний около среднего для всей группы невелик. Наличие отдельных городов с аномально низкими и высокими содержаниями элементов в почвах в большинстве случаев объясняется спецификой антропогенной деятельности; реже – вероятными особенностями анализов (лабораторий), используемых отдельными исследователями; а также, вероятно, сорбционными особенностями почв, что наиболее характерно для распределения Zn.

5.2.3. Сравнение с кларковыми содержаниями земной коры

Как уже указывалось в этом издании, распространенность химических элементов в почвах населенных пунктов в основном

определяется антропогенной деятельностью, обычно возрастающей с числом жителей. Однако отличия средних содержаний рассмотренных выше химических элементов в почвах городов могут быть связаны не только с антропогенной деятельностью, но и с рядом других. Одним из числа важнейших факторов может стать химический состав почвоподстилающих (почвообразующих) горных пород.

Как видно из табл. 5.2, в почвах городов с населением более 700 тысяч среднее содержание большинства рассматриваемых химических элементов больше кларка земной коры. При этом у 12 элементов содержание в почвах выше кларка земной коры в 2 и более раз. Это Ag (6,2), As (14,5), Bi (129), Cd (21,9), Hg (3,6), Mo (2,1), Pb (4,1), S (3,4), Sn (4,0), W (2,1), Yb (7,5), Zn (2,4) –в скобках приведены кларки концентрации по отношению к земной коре. Из перечисленных элементов в четыре и более раз превосходят кларк земной коры средние содержания 6 элементов (Ag, As, Bi, Cd, Pb,Yb), а трех химических элементов – более чем в 14 раз (As, Bi, Cd).

Значительно повышенные содержания элементов в почвах городов-миллионеров, по сравнению с соответствующими кларками в земной коре, могут свидетельствовать о незначительной роли горных пород в формировании средних содержаний элементов в почвах данной группы городов. Судя по этим данным, на распространенность указанных выше элементов основное влияние оказали процессы общего образования почв и антропогенная деятельность. Об этом же может свидетельствовать и практическое отсутствие приуроченности городов с особо высокими средними содержаниями в почвах перечисленных выше элементов к определенным геологическим структурам. Так, к городам с высоким средним содержанием в почвах серебра относятся Стокгольм, Лондон, Париж, Пекин и Москва; висмута – Шэньчжэнь, Аделаида, Кельн, Красноярск, Новосибирск и т. д.

Так же, как и при сравнении почв городов-миллионеров с почвами Земли, и в этом разделе рассмотрим сначала геохимические особенности и области применения в современной промышленности химических элементов со средними содержаниями в почвах указанных городов, значительно превосходящими кларк земной коры.

Серебро (Ag) относится к нечетноатомным элементам, расположенным несколько ниже «линии жизни». Используется этот металл в электротехнической, электронной, гальванической и других отраслях промышленности, а также в ювелирном деле и при валютных операциях. В конце XX в. зарубежная годовая добыча серебра составляла свыше 10 тыс. т.

По данным различных исследователей среднее содержание металла в почвах Земли колеблется от 0,005 до $0{,}07 \cdot 10^{-3}$ %. Содержание серебра в почвах, значительно обогащенных органическим веществом, может возрастать до $0{,}2–0{,}5 \cdot 10^{-3}$ %. Естественно, что содержание Ag возрастает и в рудных районах, обычно до $0{,}1 \cdot 10^{-3}$ %. По А. П. Виноградову кларк серебра в почвах равен $0{,}05 \cdot 10^{-3}$ %, а по Л. Н. Овчинникову – $0{,}01 \cdot 10^{-3}$ %.

Висмут **(Bi)** – нечетноатомный элемент, расположенный значительно ниже «линии жизни». Он широко используется в электронной, машиностроительной, металлургической и химической промышленности. В ядерных реакторах может быть теплоносителем. Используется висмут при изготовлении сверхпроводников, оптической электроники, красителей. В конце прошлого века годовая зарубежная добыча Bi составляла около 4 тыс. т, в XXI в. ожидается увеличение потребления висмута по различным оценкам до 5–6 тыс. т.

А. П. Виноградовым кларк Bi для почв Земли не был установлен. По данным других исследователей, среднее содержание висмута в почвах близко к $0{,}02 \cdot 10^{-3}$ %. В почвах сельскохозяйственных ландшафтов Шотландии его содержание возрастает до $0{,}04 \cdot 10^{-3}$ %, а в садовых ландшафтах Канады – до $0{,}15 \cdot 10^{-3}$ %. Отмечено также возрастание содержаний Bi в почвах при повышении концентрации в них железа и органических веществ.

Олово (Sn) – четноатомный металл, в таблице Д. И. Менделеева расположен ниже «линии жизни». Давно и широко используется людьми. Ежегодное зарубежное производство Sn-концентратов в конце XX в. составляло около 150 тыс. т. В основном (около 60 %) олово используется для получения различных сплавов, защитных покрытий металлов, фольги, специальных смазок. Развитая область применения металла приводит к его существенному техногенному поступлению в почвы ландшафтов

населенных пунктов, особенно при износе деталей из соответствующих сплавов.

Кларк почв Земли равен для олова $1 \cdot 10^{-3}$ %, по данным других исследователей среднее содержание металла в почвах несколько меньше $0{,}4–0{,}12 \cdot 10^{-3}$ %. По данным В.В. Иванова обычное содержание Sn в почвах колеблется от 0,1 до $1{,}1 \cdot 10^{-3}$ %. Основное количество металла в почвах приурочено к тяжелой фракции, что во многом может быть связано с накоплением, по данным А. И. Перельмана Sn в зоне гипергенеза на механических барьерах.

Иттербий (Yb) – редкоиспользуемый четноатомный металл, относящийся к лантаноидам. Расположен значительно ниже «линии жизни». Добывается в небольших количествах вместе с рядом лантаноидов и иттрием. Применяется как катализатор в некоторых химических производствах, для изготовления лазеров, оптических стекол, ряда специальных приборов, а также в рентгенотехнике.

Среднее содержание в почвах Yb, по данным ряда исследователей, близко к $0{,}3 \cdot 10^{-3}$ %. В почвах США (Шаклетт, 1984) концентрация металла изменяется от 0,23 до $0{,}41 \cdot 10^{-3}$ % в зависимости от типа почв.

Далее сравним средние содержания химических элементов в почвах городов с населением более 700 тысяч жителей с кларком земной коры. Рассмотрим содержания элементов с наибольшим кларком концентрации по отношению к кларку земной коры.

Среднее содержание серебра (Ag) в почвах городов-миллионеров в 6,2 раза больше кларка земной коры. Однако это нельзя объяснять только процессами техногенеза, так как кларк почв Земли еще больше, чем среднее содержание Ag в почвах рассматриваемой группы городов. Точно также *нельзя за счет техногенеза относить высокий кларк концентрации олова в почвах городов-миллионеров*; так как кларк почв Земли и этого металла больше его среднего содержания в почвах городов. В обоих этих случаях повышенные средние содержания в почвах городов, в значительной мере, могут быть связаны с общими процессами почвообразования. Более высокое содержание Ag и Sn в почвах городов может быть одним из признаков того, что горные породы земной коры не оказали существенного влия-

ния на концентрацию этих металлов в почвах городов-миллионеров.

Городами с максимальными средними содержаниями в почвах серебра являются Москва (0,2; содержание было заменено, как «ураганное»), Стокгольм, Лондон, Париж (все 0,1), Пекин (0,08) (в скобках – среднее содержание в почвах города в $n \cdot 10^{-3}$ %). Москва – город с многоотраслевой промышленностью, со значительным развитием автомобиле- станко- приборостроения, химической, легкой, пищевой промышленности и др. Практически все предприятия города могут быть в определенной мере поставщиками Ag в почвы.

Некоторые особенности антропогенной нагрузки в Лондоне и Пекине уже рассматривались. Основными источниками серебра, поступающего в почвы, в них могут быть (как и в Москве) практически все предприятия, а преимущественно – относящиеся к электронной, электротехнической и гальванической отраслям промышленности.

В г. Стокгольме (как и в Париже) предприятия тяжелой индустрии к концу XX в. были выведены за пределы города. Повышенные содержания Ag в его почвах во многом могут быть связаны с их депонирующими свойствами.

Существенно понижено среднее содержание серебра в почвах г. Белграда. Оно равно $0{,}01 \cdot 10^{-3}$ %.

Среднее содержание мышьяка (As) в почвах городов рассматриваемой группы в 14,5 раза больше кларка металла в земной коре, *висмута (Bi) – в 129, кадмия (Cd) – почти в 22, свинца (Pb) – в 4,1, а иттербия (Yb) – в 7,5 раза*. Эти данные позволяют считать, что высокие содержания As, Cd, Pb в почвах населенных пунктов с числом жителей более 700 тысяч связаны в основном, не с высокими содержаниями этих элементов в горных породах. То, что содержание в почвах городов выше, чем в почвах Земли, может рассматриваться как свидетельство значительной роли в повышении концентраций As, Cd и Pb в почвах городов не только общих процессов почвообразования, но и техногенеза. Основные особенности техногенеза в городах с повышенными содержаниями этих элементов уже рассматривались (5.2.2).

Кларки Bi и Yb для почв Земли А. П. Виноградовым не были установлены. Если ориентироваться на данные других исследо-

вателей (см. выше), то в особенностях концентрации Yb в почвах городов большую роль могли играть (также, как и для Ag и Sn) процессы общего почвообразования, а не техногенеза. Висмут же по таким особенностям близок к As, Cd и Pb.

Среднее содержание висмута (Bi) в почвах крупнейших городов более чем в 100 раз превосходит кларк металла в земной коре. Естественно, что такое превышение мы связываем в большей мере с антропогенной деятельностью людей в этой группе населенных пунктов, чем с влиянием почвообразующих горных пород. Наиболее высокие средние содержания Bi нами были установлены в городах Шэньчжэнь (0,2), Кельн, Аделаида (0,17), Красноярск и Новосибирск (0,13); в двух последних городах содержание ($0{,}13 \cdot 10^{-3}$ %) приводится по литературным данным. Особенности антропогенной деятельности во всех этих городах, кроме Новосибирска, уже приводились в разделе 5.2.2. В г. Новосибирске к числу важнейших отраслей промышленности относятся энергетика, металлургия, машиностроение и металлообработка. Все они, как и соответствующие отрасли в перечисленных выше городах, могут быть основными источниками повышенных содержаний висмута в почвах.

Средние содержания кадмия (Cd) в почвах городов с населением более 700 тысяч жителей почти в 22 раза превышает кларк металла для земной коры. Антропогенная нагрузка в городах группы с наибольшим средним содержанием Cd в почвах уже рассматривалась (раздел 5.2.2). К ранее приведенным городам можно добавить г. Львов, среднее содержание в почвах которого, по литературным данным, ($0{,}48 \cdot 10^{-3}$ %) превосходит кларк земной коры более, чем в 30 раз. В СССР в городе ведущее место занимали отрасли военно-промышленного комплекса, приборостроение, машиностроение, металлообработка. Предприятия этих отраслей могли относиться к основным поставщикам Cd в городские почвы. К 2001 г. в городе стали доминировать предприятия пищевой промышленности, а объем машиностроения и металлообработки уменьшился в 3 раза. Однако повышенные содержания Cd в почвах сохранились.

О средних содержаниях свинца (Pb) в почвах городов с населением более 700 тысяч жителей и о городах с максимальными средними содержаниями в почвах уже писалось.

Среднее содержание в почвах крупнейших городов иттербия (Yb) равно $0{,}25 \cdot 10^{-3}$ %, что в 7,5 раза выше кларка земной коры. Наиболее высокие средние содержания этого редкоиспользуемого элемента в почвах, среди рассматриваемых нами городов, отмечены в Париже (0,37), Красноярске (0,32), Вене (0,30) и Аделаиде (0,28) (все в $n \cdot 10^{-3}$ %). Отметим сразу, что даже эти максимальные содержания в почвах, по данным многих исследователей, являются обычными для почв за пределами селитебных ландшафтов. Из городов с повышенным средним содержанием в почвах Yb нами рассматривалась Вена. По публикуемым данным в этом городе развиты, кроме пищевой, текстильная, деревообрабатывающая, легкая промышленности.

В целом сравнение средних содержаний элементов в почвах городов-миллионеров с кларками земной коры позволяет считать следующее:

• Основная часть химических элементов в почвах селитебных ландшафтов с населением более 700 тысяч находится в содержаниях, превышающих величины кларковых содержаний этих элементов в земной коре. Для группы таких элементов, как Pb, Ag, Yb содержание в почвах превышает кларк более чем в 4 раза. Для As, Cd и Bi такое превышение составляет 14,5–129 раз.

• Результаты проведенного сравнения косвенно указывают на то, что основным фактором, влияющим на содержание элементов в почвах городов-миллионеров с большим кларком концентрации по отношению к кларку земной коры, была техногенная деятельность, при определенной роли общих процессов почвообразования. Последнее касается, в первую очередь, Ag, Sn и Yb.

• Более высокие содержания в земной коре Ta и Rb (табл. 5.2) можно объяснить редкостью их использования при современном уровне развития промышленности в городах-миллионерах. Содержание в почвах Na, а в значительной мере и Mg, в основном контролируется климатическими и ландшафтно-геохимическими особенностями конкретных районов. Видимо, для Na и Mg в почвах группы городов-миллионеров роль указанных ландшафтно-геохимических факторов, как и состав исходного

породного субстрата, может иногда оказывать влияние на их содержание.

• Положение о том, что горные породы не оказали существенного влияния на среднее содержание подавляющего числа элементов в почвах рассматриваемой группы городов, касается именно почв всей группы. В отдельных городах или даже в их частях (напомним, что населенные пункты этой группы занимают значительные территории и их отдельные части могут слагаться различными коренными горными породами) на содержание элементов в почвах, горные породы теоретически могут оказать определенное влияние.

5.2.4. Сравнение с кларками почв населенных пунктов

Рассмотрим далее, насколько отличаются от кларка для почв всех населенных пунктов средние содержания химических элементов в почвах городов с числом жителей более 700 тысяч. Из табл. 4.1 видно, что у большей части химических элементов среднее содержание в почвах городов-миллионеров выше кларка для почв населенных пунктов. Однако для подавляющего числа элементов это превышение крайне незначительно (в 1,01–1,47 раза). Такая разница содержаний при вероятности 95 % часто вообще незначима и может свидетельствовать лишь о тенденции к накоплению химических элементов в почвах городов рассматриваемой группы.

Говорить о значительном превышении кларка для почв населенных пунктов можно для кадмия (в 3,2 раза). Следует также отметить относительно высокие средние содержания олова и мышьяка, превышающие кларк в 1,5 раза. Некоторые геохимические особенности этих элементов и основные области их применения в конце XX – начале XXI в. уже были рассмотрены в этой главе.

Максимальное среднее содержание олова (Sn) в почвах отдельных городов группы установлено для Парижа ($2{,}37 \cdot 10^{-3}$ %), Шэньчжэня ($1{,}83 \cdot 10^{-3}$ %) и Аделаиды ($1{,}36 \cdot 10^{-3}$ %). Вероятнее всего, повышенные содержания Sn поступали в почвы городов при износе различных сплавов и покрытий металлов, а также ряда смазок. Особенности техногенеза в этих городах уже

рассматривались в этой главе. Отметим только еще раз, что в Париже к настоящему времени нет тяжелой промышленности, но высокие содержания ряда химических элементов, включая олово, в почвах сохранились.

Наиболее высокие содержания мышьяка (As) установлены в рассматриваемой группе для почв Гонконга ($3{,}57 \cdot 10^{-3}$ %), Лондона ($3{,}4 \cdot 10^{-3}$ %), Пекина ($3{,}2 \cdot 10^{-3}$ %) и Шэньчжэня ($3 \cdot 10^{-3}$ %). As, как уже указывалось, используется в электронике, в специальных сплавах цветных металлов, при пропитке древесины и для уничтожения грызунов и насекомых. Все эти материалы и соли, вероятно, являются основными источниками поступления мышьяка в почвы указанных городов в содержаниях более высоких, чем среднее содержание элемента в почвах рассматриваемой группы городов ($2{,}46 \cdot 10^{-3}$ %). Эти положения уже были рассмотрены в разделе 5.2.2.

К городам с повышенным средним содержанием кадмия (Cd) в почвах относятся Алматы ($0{,}77 \cdot 10^{-3}$ %), Челябинск ($0{,}69 \cdot 10^{-3}$ %), Львов ($0{,}48 \cdot 10^{-3}$ %) – все данные об этих содержаниях взяты из публикаций многих исследователей.

Почвы городов-миллионеров отличаются от установленных нами кларков почв населенных пунктов не только повышенными, но и пониженными средними содержаниями ряда химических элементов (табл. 4.1), хотя значимые отличия характерны лишь для двух элементов. В почвах городов-миллионеров понижены средние содержания La (в 2,2 раза) и Ca (в 3,1 раза). Есть еще ряд элементов, у которых содержание в почвах крупнейших городов совсем незначительно понижено (в 1,01–1,5 раза), по сравнению с кларком почв населенных пунктов (табл. 4.1) эти изменения являются практически несущественными при вероятности 95 %.

Таким образом, можно отметить следующее:

- Средние содержания большинства химических элементов в почвах городов с населением свыше 700 тыс. жителей довольно близки к кларковым содержаниям почв населенных пунктов.
- Повышены по сравнению с кларком почв населенных пунктов средние содержания в почвах рассматриваемой группы Sn, As и Cd, а понижены – La и Ca.

5.2.5 Общие закономерности

Рассмотрение геохимических особенностей почв городов с населением свыше 700 тысяч (городов-миллионеров) позволило установить некоторые общие закономерности:

1. Судя по тому, что средние содержания большинства химических элементов в почвах городов-миллионеров превышают кларковые значения, установленные для земной коры и главнейших типов горных пород, – наблюдается тенденция накопления химических элементов в почвах рассматриваемой группы городов. По нашему мнению, она связана с антропогенной деятельностью. То, что указанное превышение не является результатом обычного процесса почвообразования, подтверждается тем, что в почвах городов-миллионеров содержание большинства элементов превышает их кларковое содержание в почвах Земли.

2. Средние содержания ряда химических элементов, наиболее часто используемых людьми при современном уровне развития науки и техники (Pb, Cd, Cu, Zn, As, Ag, Sn и др.), в почвах городов с населением свыше 700 тыс. в несколько (до десятков и даже сотен) раз превосходят кларки и земной коры, и почв Земли. Это может рассматриваться как одно из положений, подтверждающих правильность выделения рассматриваемой группы городов.

3. О правильности (необходимости) выделения городов-миллионеров также свидетельствует то, что при вероятности 95 % среднее содержание в почвах этих городов As, Sn, Cd в 1,5–3 раза выше кларка почв населенных пунктов и то, что для большей части отдельных городов группы размах колебаний средних содержаний элементов в почвах около средних для всей группы невелик. Эти геохимические особенности могут объясняться подобным воздействием на почвы антропогенной деятельности в городах с населением более 700 тысяч.

4. Средние содержания редких элементов, за исключением иттербия, в почвах городов рассматриваемой группы не представляют собой высоких концентраций по сравнению с кларками земной коры и кларками почв Земли. Это можно объяснить законом об ассоциациях химических элементов, образующих крупные техногенные аномалии.

5. Средние содержания ряда химических элементов в почвах только лишь отдельных городов группы иногда существенно отличаются от среднего содержания для почв всей группы городов, что объясняется спецификой антропогенной деятельности в городах-миллионерах. Какой-либо связи этих городов с их географическим и ландшафтно-геохимическим положением нами не установлено. Отметим также, что в рассматриваемой группе городов выделяются отдельные населенные пункты, в почвах которых средние содержания не одного, а 4–5 химических элементов значительно превосходят средние содержания, установленные для почв всей группы. К таким городам относятся Красноярск, Гонконг, Шэньчжэнь и др.

6. В почвах городов с населением свыше 700 тысяч жителей высокие концентрации химических элементов сохраняются десятилетиями после вывоза за пределы таких городов основных загрязнителей почв.

5.3. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВ ГОРОДОВ С НАСЕЛЕНИЕМ ОТ 300 ДО 700 ТЫСЯЧ ЧЕЛОВЕК

5.3.1 Общие сведения

Группа населенных пунктов с числом жителей от 300 до 700 тыс. человек, т. е. по сути, городов с полумиллионным населением включает в себя опробованные авторами города как европейской, так и азиатской частей России, а также Казахстана, Украины, Германии, Финляндии. Из литературных источников были получены данные о содержаниях химических элементов в почвах городов европейской территории России, Алтая, Приморья, а также Казахстана, Украины, Белоруссии, Литвы. По особенностям техногенеза города этой группы чаще бывают схожи с городами-миллионерами, где представлены многие отрасли промышленных производств, что приводит к формированию полиэлементных геохимических аномалий в почвах. Однако некоторые населенные пункты с населением в сотни тысяч человек могут базироваться на комплексе предприятий одной отрасли как, например, Усть-Каменогорск, где развито несколько очень крупных предприятий, но все они относятся к сфере цветной

металлургии, или Череповец, где главные заводы специализируются либо на черной металлургии, либо на ассоциированном с ней производстве азотных удобрений. Подобные промышленные центры являются схожими с так называемыми «моногородами», имеющими обычно одно основное предприятие, представляющее собой доминирующий источник загрязнения.

5.3.2. Сравнение с кларковыми содержаниями почв земли

Выделение общих особенностей техногенеза, проявивших воздействие на геохимические особенности городов с населением от 300 до 700 тыс. человек можно провести путем сравнения средних содержаний химических элементов в их почвах с кларковыми содержаниями почв Земли. Концентрации девяти химических элементов в 1,5 и более раз повышены в почвах рассматриваемой группы по сравнению с их кларками: As, Ba, Cd, Co, Cu, Li, Mg, Pb, Zn (табл. 5.4). Также были определены содержания некоторых из тех элементов, чьи кларки для почв всей планеты не были установлены А. П. Виноградовым: Bi, Nb, Sb, Tl. W, Yb. Среди перечисленных химических элементов с повышенным относительно кларка содержанием особо следует выделить четыре, имеющие значительное превышение: серебро – в 2 раза; барий – в 2,2 раза; свинец – в 4,6 раза; цинк – в 2,3 раза. Как и в случае с городами-миллионерами, эти отличия подчеркивают обоснованность выделения городов с приблизительно полумиллионным населением для рассмотрения в качестве отдельной группы.

Значительное загрязнение городских почв каждым из названных четырех химических элементов вызвано различными причинами, однако при детальном рассмотрении возможно выделить некоторые закономерности.

Среднее содержание мышьяка (As) составляет $1 \cdot 10^{-3}$ %, что в два раза выше кларка почв Земли. Максимальные концентрации характерны для почв городов: Симферополь ($2 \cdot 10^{-3}$ %), Владимир ($1{,}69 \cdot 10^{-3}$ %) и Усть-Каменогорск ($1{,}62 \cdot 10^{-3}$ % по литературным данным) – причем в последнем из названных городов среднее содержание осталось повышенным даже после замены его как «ураганного» ($7{,}27 \cdot 10^{-3}$ %). Минимальна распро-

Таблица 5.4

Распространённость химических элементов в почвах городов с численностью населения от 300 до 700 тыс. чел. в сравнении с земной корой, кларком почв Земли и кларком почв населённых пунктов (содержание всех элементов в $n \cdot 10^{-3}$ % массы)

Table 5.4

The concentrations of chemical elements in the soils of cities with the number of population 300 – 700 thousand people comparing with the Earth's crust, the Earth's soil cover and urban soils (concentrations of all elements in $n \cdot 10^{-3}$ %)

Элемент	Номер элемента	Среднее содержание в почвах городов с численностью населения от 300 до 700 тыс. чел.	Кларк земной коры (по А. П. Виноградову)	Кларк концентрации по отношению к земной коре	Кларк почв Земли (по А. П. Виноградову)	Кларк концентрации по отношению к почвам Земли	Кларк почв населённых пунктов	Кларк концентрации по отношению к почвам населённых пунктов
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ag	47	0,036	0,007	5,2	0,050	0,7	0,037	1,0
Al	13	3736,004	8050,000	0,5	7130,000	0,5	3820,000	1,0
As	33	0,998	0,170	5,9	0,500	2,0	1,592	0,6
B	5	–	1,200	–	1,000	–	4,500	–
Ba	56	109,138	65,000	1,7	50,000	2,2	85,312	1,3
Be	4	0,279	0,380	0,7	0,600	0,5	0,326	0,9
Bi	83	0,112	0,001	124,9	–	–	0,112	1,0
Ca	20	7709,417	2960,000	2,6	1370,000	5,6	5380,000	1,4
Cd	48	0,080	0,013	6,2	0,050	1,6	0,090	0,9
Cl	17	31,250	17,000	1,8	10,000	3,1	28,500	1,1
Co	27	1,436	1,800	0,8	0,800	1,8	1,409	1,0
Cr	24	5,499	8,300	0,7	20,000	0,3	8,000	0,7
Cs	55	–	0,370	–	0,500	–	n·1,0	–
Cu	29	3,012	4,700	0,6	2,000	1,5	3,897	0,8
Fe	26	2010,550	4650,000	0,4	3800,000	0,5	2190,000	0,9

Окончание табл. 5.4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ga	31	1,612	1,900	0,8	3,000	0,5	1,619	1,0
Ge	32	0,160	0,140	1,1	0,500	0,3	0,181	0,9
Hg	80	–	0,008	–	0,001	–	0,088	–
K	19	1259,823	2500,000	0,5	1360,000	0,9	1340,000	0,9
La	57	3,200	2,900	1,1	4,000	0,8	3,400	0,9
Li	3	5,246	3,200	1,6	3,000	1,7	4,945	1,1
Mg	12	1010,249	1870,000	0,5	630,000	1,6	790,000	1,3
Mn	25	71,521	100,000	0,7	85,000	0,8	72,870	1,0
Mo	42	0,224	0,110	2,0	0,200	1,1	0,244	0,9
Na	11	526,774	2500,000	0,2	630,000	0,8	580,000	0,9
Nb	41	1,566	2,000	0,8	–	–	1,570	1,0
Ni	28	2,796	5,800	0,5	4,000	0,7	3,299	0,8
P	15	108,982	93,000	1,2	80,000	1,4	120,047	0,9
Pb	82	4,563	1,600	2,9	1,000	4,6	5,449	0,8
Rb	37	5,100	15,000	0,3	10,000	0,5	5,800	0,9
S	16	114,000	47,000	2,4	85,000	1,3	120,000	1,0
Sb	51	1,530	0,050	30,6	–	–	0,100	15,3
Sc	21	0,840	1,000	0,8	0,700	1,2	0,942	0,9
Si	14	26 119,904	29 500,000	0,9	33 000,000	0,8	28 900,000	0,9
Sn	50	0,639	0,250	2,6	1,000	0,6	0,677	0,9
Sr	38	35,921	34,000	1,1	30,000	1,2	45,783	0,8
Ta	73	–	0,250	–	–	–	0,150	–
Ti	22	437,823	450,000	1,0	460,000	1,0	475,792	0,9
Tl	81	0,098	0,100	1,0	–	–	0,114	0,9
V	23	7,893	9,000	0,9	10,000	0,8	10,486	0,8
W	74	0,357	0,130	2,7	–	–	0,288	1,2
Y	39	2,330	2,000	1,2	5,000	0,5	2,335	1,0

страненность в почвах Барнаула ($0{,}035 \cdot 10^{-3}$ %), Новокузнецка ($0{,}06 \cdot 10^{-3}$ % по литературным данным) и Улан-Удэ ($0{,}2 \cdot 10^{-3}$ % по литературным данным). Нельзя не отметить, что содержание мышьяка было определено в сравнительно небольшом числе городов и является одним из самых малых по сравнению со средними содержаниями в остальных группах городов. Тем не менее по превышению средней концентрации в два раза можно утверждать о накоплении мышьяка в почвах городов, где проживает от 300 до 700 тысяч человек, по сравнению с «общеземными» почвами. Причиной этому служат схожие процессы техногенеза с теми, что были упомянуты в описании почв городов-миллионеров. В городах Симферополь и Владимир расположены машиностроительная и химическая отрасли промышленности, а в Симферополе также развито производство электроники. Аномально высокое содержание мышьяка в почвах Усть-Каменогорска ($7{,}27 \cdot 10^{-3}$ %) является, очевидно, прямым следствием «специализации» города – это центр цветной металлургии Казахстана, в котором на протяжении нескольких десятилетий осуществляется отлив свинцово-цинковых и титано-магниевых сплавов, урановых и бериллиевых соединений. В перечислении геохимических свойств As (5.2.2) среди возможных сфер применения сплавы цветных металлов стоят на первом месте, что в полной мере объясняет столь высокую степень загрязнения города Усть-Каменогорск.

Среднее содержание бария (Ba) в рассматриваемой группе городов составляет $109 \cdot 10^{-3}$ %, что выше кларка почв всей планеты в 2,2 раза. В различных городах распределение этого элемента довольно однородно: распространенность, как правило, колеблется в пределах от $85 \cdot 10^{-3}$ % до $135 \cdot 10^{-3}$ %. Максимальные содержания были отмечены в почвах городов Калининград ($287 \cdot 10^{-3}$ %) и Смоленск ($135 \cdot 10^{-3}$ %). Минимальные – в почвах городов Кемерово ($31 \cdot 10^{-3}$ % по литературным данным), Хельсинки ($67 \cdot 10^{-3}$ %) и Усть-Каменогорск ($67 \cdot 10^{-3}$ % по литературным данным). Таким образом, только средняя распространенность в почвах Кемерово ниже кларка почв Земли ($50 \cdot 10^{-3}$ %); барию в целом свойственна аккумуляция в почвах городских ландшафтов, и по сравнению с установленным кларком почв населенных пунктов среднее содержание в почвах городов с по-

лумиллионным населением не является повышенным (раздел 5.3.4). Особо высокие концентрации Ba в почвах двух городов рассматриваемой группы, могут быть вызваны тем, что в Калининграде развито машиностроение (в том числе судостроение, вагоностроение, автомобилестроение) и нефтепереработка, в Смоленске – также машиностроение (в том числе авиастроение) и производство оптического и электронного оборудования.

Среднее содержание свинца (Pb), равное $4{,}56 \cdot 10^{-3}$ %, в 4,6 раза превосходит кларк почв Земли. Средние концентрации этого элемента были определены практически в каждом городе рассматриваемой группы. Распределение их (концентраций) является довольно равномерным: они колеблются приблизительно в интервале от $2 \cdot 10^{-3}$ % до $6{,}7 \cdot 10^{-3}$ %. Максимальным, даже «ураганным», было содержание в почвах Усть-Каменогорска ($25{,}4 \cdot 10^{-3}$ % по литературным данным); после его замены наибольшими являются $12{,}9 \cdot 10^{-3}$ % (Архангельск, по литературным данным), $12{,}75 \cdot 10^{-3}$ % (Билефельд, Германия); $12{,}45 \cdot 10^{-3}$ % (Новороссийск). Все данные о минимальных содержаниях свинца получены из литературных источников; они определены в почвах городов Казахстана – Костанай ($0{,}39 \cdot 10^{-3}$ %) и Тараз ($0{,}78 \cdot 10^{-3}$ %), а также городов Белоруссии – Витебск ($0{,}87 \cdot 10^{-3}$ %), Гродно ($1{,}17 \cdot 10^{-3}$ %) и Могилев ($1{,}25 \cdot 10^{-3}$ %).

Усть-Каменогорск, как уже было сказано, является крупнейшим центром производства свинцово-цинковых сплавов в Казахстане, что в полной мере объясняет загрязнение почв Pb. Наличием крупнейшего по грузообороту порта в России и соответствующей высокой техногенной нагрузкой, а также с развитием в прошлые десятилетия приборостроения могут быть связаны высокие концентрации свинца и цинка (см. след. пункт) в Новороссийске. С существованием промышленных предприятий тяжелой индустрии в Архангельске (крупнейший производитель лесозаготовительной техники) и в Билефельде также, по-видимому, связано накопление свинца в почвах этих городов.

Среднее содержание цинка (Zn), равное $11{,}6 \cdot 10^{-3}$ %, в 2,3 раза превосходит кларк всех почв планеты. Процентная концентрация этого химического элемента, так же как и содержание свинца, была определена в почвах почти всех городов с числом жителей от 300 до 700 тысяч. В городах Усть-Каме-

ногорск и Владивосток содержания, полученные по литературным данным, были заменены как «ураганные» (соответственно, $88{,}8\cdot10^{-3}$ % и $80{,}8\cdot10^{-3}$ %). Максимальные же допустимые содержания свойственны почвам Новороссийска ($36\cdot10^{-3}$ %) и Архангельска ($35{,}3\cdot10^{-3}$ % по литературным данным). Самые низкие концентрации свинца, согласно литературным данным, характерны для двух населенных пунктов Казахстана: Костанай ($1{,}5\cdot10^{-3}$ %) и Тараз ($2{,}99\cdot10^{-3}$ %) и группе городов Белоруссии (от $2{,}2\cdot10^{-3}$ % до $2{,}9\cdot10^{-3}$ %), по возрастанию содержаний: Брест, Гродно, Витебск, Гомель. О причинах «металлизации» почв Усть-Каменогорска уже было сказано, а высокие содержания цинка в почвах Владивостока, вероятно, связаны с развитием в этом городе судостроения и приборостроения и с функционированием морского порта. Упомянутые предприятия Новороссийска и Архангельска, приведшие, по всей видимости, к загрязнению почв свинцом могут служить источниками цинка в этих городах.

5.3.3. Сравнение с кларковыми содержаниями земной коры

Сравнение средних содержаний химических элементов в почвах городских ландшафтов с кларком почвоподстилающих (почвообразующих) пород, как уже было указано в разделе 5.2.3, имеет немалое значение. Как видно из табл. 5.4, для группы городов с примерно полумиллионным населением почти в половине случаев характерны повышенные содержания химических элементов по сравнению с земной корой, из которых можно выделить Ag, As, Cd, Yb (выше в 5,2–7 раз) и Bi (в 125 раз). Кларковые содержания земной коры в 1,9–4,8 раза выше средних содержаний в почвах городов с населением от 300 до 700 тысяч человек только в случае с 7 химическими элементами: Al, Fe, K, Mg, Na, Ni, Rb, т. е. с породообразующими (помимо двух последних) элементами. Необходимо отметить, что по сравнению с городами-миллионерами уменьшилось количество элементов, содержание которых выше в земной коре.

Среднее содержание серебра (Ag) составляет $0{,}036\cdot10^{-3}$ %, что в 5,2 раза больше кларка земной коры. Наибольшими являются средние концентрации в почвах Севастополя ($0{,}11\cdot10^{-3}$ %), Симферополя ($0{,}1\cdot10^{-3}$ %), Хельсинки ($0{,}05\cdot10^{-3}$ %) и Усть-Каменогорска ($0{,}049\cdot10^{-3}$ % по литературным данным). Наименьшие же характерны почвам таких городов, как Кемерово ($0{,}001\cdot10^{-3}$ % по литературным данным), Иркутск ($0{,}008\cdot10^{-3}$ % по литературным данным), Владимир ($0{,}01\cdot10^{-3}$ %) и Улан-Удэ ($0{,}01\cdot10^{-3}$ % по литературным данным). Как было указано в разделе 5.2.3, исключительно процессами техногенеза нельзя объяснять повышенные концентрации серебра в почвах городов по сравнению с земной корой, так как кларк Ag для почв всей Земли ($0{,}05\cdot10^{-3}$ %) в 5 раз превышает кларк земной коры. Тем не менее, можно предположить, что более высокие, чем в других населенных пунктах, содержания этого металла в городах Хельсинки и Симферополь – следствие развития в их пределах производств электроники и электротехники, в которых применяется серебро. В Усть-Каменогорске, как было упомянуто в разделе 5.3.2, широко развита цветная металлургия, а в Севастополе накопление Ag может быть вызвано судостроительным портовым комплексом.

Среднее содержание мышьяка (As) составляет $1\cdot10^{-3}$ %, что в 5,9 раза выше кларка земной коры. Особенности распространенности этого химического элемента в различных городах с примерно полумиллионным населением были описаны в разделе 5.3.2.

Среднее содержание висмута (Bi), составляющее $0{,}112\cdot10^{-3}$ %, в 125 раз превышает кларк земной коры. Среди определенных средних концентраций в различных городах группы даже наименьшая ($0{,}07\cdot10^{-3}$ %), в 78 раз выше кларка земной коры. Среднее содержание висмута в группе городов с полумиллионным населением очень близко к рассчитанному кларку почв населенных пунктов ($0{,}11\cdot10^{-3}$ %); кларк почв Земли для этого элемента не был определен.

Среднее содержание кадмия (Cd), равное $0{,}08\cdot10^{-3}$ %, в 6,2 раза выше средней концентрации в земной коре. Самые высокие содержания этого металла, полученные из литературных данных о городах Павлодар ($1{,}374\cdot10^{-3}$ %) и Усть-Каменогорск ($0{,}857\cdot10^{-3}$ %), даже после замены их как «ураганные» остались повышенными ($0{,}17\cdot10^{-3}$ %). Помимо них высокие концентрации отмечены в почвах городов Шымкент ($0{,}455\cdot10^{-3}$ %) и Семи-

палатинск ($0{,}18 \cdot 10^{-3}$ %), также полученные из литературных источников. Низкие содержания кадмия характерны (по литературным данным) почвам Иркутска ($0{,}001 \cdot 10^{-3}$ %), Караганды ($0{,}023 \cdot 10^{-3}$ %) и Бреста ($0{,}025 \cdot 10^{-3}$ %). Поскольку, как было сказано в описании почв городов-миллионеров, использование кадмия связано с производствами аккумуляторных батарей, ряда сплавов, красителей, пластмасс, выпрямителей, специальных стекол, можно считать, что современное загрязнение городских почв кадмием возможно практически во всех населенных пунктах. То, что в значительных количествах вероятно поступление металла при добыче и обогащении руд свинцово-цинковых, медно-цинковых, колчеданных месторождений, объясняет «ураганные» содержания Cd в почвах Усть-Каменогорска (центр цветной металлургии Казахстана) и Павлодара, где помимо металлургии существует крупный комплекс предприятий широкого профиля (нефтеперерабатывающий, химический, электролизный, рубероидный, машиностроительный и тракторный заводы), а также повышенные концентрации в почвах Шымкента (цветная металлургия дополнена тяжелым машиностроением, химической и нефтеперерабатывающей промышленностями). В почвах Семипалатинска повышенные содержания элемента могут быть связаны с деятельностью нескольких машиностроительных и одного танкоремонтного завода, а также с развитием производства строительных материалов.

Среднее содержание иттербия (Yb) составляет $0{,}231 \cdot 10^{-3}$ %, что в 7 раз выше кларка земной коры. Его распространенность была определена в малом числе городов описываемой группы, поэтому она может только указать на тенденцию к накоплению этого химического элемента в селитебных ландшафтах по сравнению с земной корой. Рассчитанный кларк иттербия для почв населенных пунктов равен $0{,}243 \cdot 10^{-3}$ %, что в 7,3 раза превышает кларк земной коры; кларк этого химического элемента для почв Земли не был определен.

5.3.4. Сравнение с кларками почв населенных пунктов

Как видно из табл. 5.4, средние содержания сорока химических элементов, определенные в группе городов с населением от 300 до 700 тыс. человек, практически совпадают с рассчитанным кларком почв селитебных ландшафтов (различаются не более чем в 1,5 раза, что не является существенным при вероятности 95 %). Возможно, это связано с тем, что в каждом населенном пункте с числом жителей около полумиллиона развиты различные сектора промышленности, т. е. практически отсутствуют «моногорода», в которых может существовать одно градообразующее предприятие, в производственных циклах которого задействованы редкоиспользуемые химические элементы.

5.3.5. Общие закономерности

В почвах достаточно крупных населенных пунктов, имеющих население более 300 тысяч человек, не происходит накопление химических элементов какой-либо специфической группы, связанной с особыми производствами. Распространенность всех химических элементов, определенных в этой группе городов, практически совпадает с кларком почв селитебных ландшафтов. Повышенные или пониженные концентрации тех или иных элементов, по сравнению с кларками земной коры или почв Земли, обусловлены только общими особенностями техногенеза и развития всех населенных пунктов.

5.4. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВ ГОРОДОВ С ЧИСЛОМ ЖИТЕЛЕЙ ОТ 100 ДО 300 ТЫСЯЧ

5.4.1. Общие сведения

Города, входящие в рассматриваемую группу, довольно многочисленны и имеют, как правило, местное значение. Они являются как бы своеобразным мостиком между ранее рассмотренными крупными городами и городскими агломерациями и так называемыми «малыми городами» с населением менее 100 тыс.

жителей, а также с группой, объединяющей небольшие поселки, станицы и хутора.

В городах с населением 100–300 тыс. жителей обычно находятся от одного до трёх довольно крупных предприятий, оказывающих основное влияние на поступление определенных химических элементов в городскую среду, в пределах которой происходит их (этих химических элементов) постепенная концентрация в почвах. К таким городам относятся Братск (основными являются алюминиевый завод и комплекс лесоперерабатывающих предприятий), Темиртау (металлургический и химический заводы), Рубцовск (сельскохозяйственный машиностроительный комбинат) и др.

Есть в этой группе и такие города, как Барановичи, в которых находится целый ряд предприятий, сравнительно небольших и во многом равноценных по загрязнению окружающей среды. В эту же группу входит и ряд городов-портов: на Охотском море – Магадан, на Каспийском – Актау (бывший г. Шевченко), у пролива Ла-Манш – г. Плимут.

Указанные особенности обусловливают то, что введение в эксплуатацию в городах этой группы новых современных предприятий (или даже только отдельных цехов в старых предприятиях), использующих элементы, ранее относимые к редким, может привести к их (редких элементов) повышенной концентрации в почвах. В связи с этим такие химические элементы вместе с элементами, поступающими от одного или нескольких крупных предприятий, становятся для определенного города приоритетными загрязняющими веществами. Содержания этих загрязняющих веществ могут выглядеть особо контрастно по сравнению с низкой концентрацией в почвах других элементов (табл. 5.1 и 5.5).

Таблица 5.5

Распространённость химических элементов в почвах городов с численностью населения от 100 до 300 тыс. чел. в сравнении с земной корой, кларком почв Земли и кларком почв населённых пунктов (содержание всех элементов в $n \cdot 10^{-3}$ % массы)

Table 5.5

The concentrations of chemical elements in the soils of cities with the number of population 100 – 300 thousand people comparing with the Earth's crust, the Earth's soil cover and urban soils (concentrations of all elements in $n \cdot 10^{-3}$ %)

Элемент	Номер элемента	Среднее содержание в почвах городов с численностью населения от 100 до 300 тыс. чел.	Кларк земной коры (по А. П. Виноградову)	Кларк концентрации по отношению к земной коре	Кларк почв Земли (по А. П. Виноградову)	Кларк концентрации по отношению к почвам Земли	Кларк почв населённых пунктов	Кларк концентрации по отношению к почвам населённых пунктов
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ag	47	0,046	0,007	6,6	0,050	0,9	0,037	1,2
Al	13	–	8050,000	–	7130,000	–	3820,000	–
As	33	2,090	0,170	12,3	0,500	4,2	1,592	1,3
B	5	–	1,200	–	1,000	–	4,500	–
Ba	56	60,273	65,000	0,9	50,000	1,2	85,312	0,7
Be	4	–	0,380	–	0,600	–	0,326	–
Bi	83	0,228	0,001	253,3	–	–	0,112	2,0
Ca	20	–	2960,000	–	1370,000	–	5380,000	–
Cd	48	0,051	0,013	3,9	0,050	1,0	0,090	0,6
Cl	17	–	17,000	–	10,000	–	28,500	–
Co	27	1,267	1,800	0,7	0,800	1,6	1,409	0,9
Cr	24	4,224	8,300	0,5	20,000	0,2	8,000	0,5
Cs	55	–	0,370	–	0,500	–	n·1,0	–
Cu	29	2,813	4,700	0,6	2,000	1,4	3,897	0,7
Fe	26	–	4650,000	–	3800,000	–	2190,000	–
Ga	31	1,506	1,900	0,8	3,000	0,5	1,619	0,9

Окончание табл. 5.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ge	32	0,158	0,140	1,1	0,500	0,3	0,181	0,9
Hg	80	–	0,008	–	0,001	–	0,088	–
K	19	–	2500,000	–	1360,000	–	1340,000	–
La	57	–	2,900	–	4,000	–	3,400	–
Li	3	5,030	3,200	1,6	3,000	1,7	4,945	1,0
Mg	12	–	1870,000	–	630,000	–	790,000	–
Mn	25	54,662	100,000	0,5	85,000	0,6	72,870	0,8
Mo	42	0,356	0,110	3,2	0,200	1,8	0,244	1,5
Na	11	–	2500,000	–	630,000	–	580,000	–
Nb	41	2,417	2,000	1,2	–	–	1,570	1,5
Ni	28	2,370	5,800	0,4	4,000	0,6	3,299	0,7
P	15	132,700	93,000	1,4	80,000	1,7	120,047	1,1
Pb	82	4,340	1,600	2,7	1,000	4,3	5,449	0,8
Rb	37	–	15,000	–	10,000	–	5,800	–
S	16	–	47,000	–	85,000	–	120,000	–
Sb	51	–	0,050	–	–	–	0,100	–
Sc	21	1,008	1,000	1,0	0,700	1,4	0,942	1,1
Si	14	–	29 500,000	–	33 000,000	–	28 900,000	–
Sn	50	0,904	0,250	3,6	1,000	0,9	0,677	1,3
Sr	38	36,534	34,000	1,1	30,000	1,2	45,783	0,8
Ta	73	–	0,250	–	–	–	0,150	–
Ti	22	427,633	450,000	1,0	460,000	0,9	475,792	0,9
Tl	81	1,067	0,100	10,7	–	–	0,114	9,3
V	23	9,912	9,000	1,1	10,000	1,0	10,486	0,9
W	74	0,349	0,130	2,7	–	–	0,288	1,2
Y	39	3,650	2,000	1,8	5,000	0,7	2,335	1,6
Yb	70	0,300	0,033	9,1	–	–	0,243	1,2
Zn	30	9,950	8,300	1,2	5,000	2,0	15,800	0,6
Zr	40	40,017	17,000	2,4	30,000	1,3	25,559	1,6

Все это позволяет говорить о начале процесса формирования в почвах городов с населением от 100 до 300 тысяч комплексной аномалии (по сравнению с почвами Земли и с земной корой), составленной такими химическими элементами, как Ag, As, Bi, Cd, Mo, Pb, Sn, Tl, W, Y, Yb, Zn, Zr.

К этим элементам следует добавить Nb и Sr. Кларк Nb А. П. Виноградовым не был определен, но по сравнению с данными о средних содержаниях в почвах, приводимыми Г. Боуэном и Х. Шаклетт ($1–1{,}2 \cdot 10^{-3}$ %), среднее содержание элемента в почвах городов рассматриваемой группы в 2,4–2,2 раза выше. Содержание Sr в почвах городов с населением 100–300 тыс. жителей, хотя и не является аномальным для почв Земли и земной коры (табл. 5.5), но является повышенным по сравнению с содержаниями в почвах других городов (табл. 5.1, 5.5). Таким образом, формирующаяся ассоциация химических элементов, образующих крупную литохимическую техногенную аномалию, которой являются почвы рассматриваемой группы городов, более чем на треть состоит из элементов, относимых к редким: Tl, Y, Yb, Zr, Nb, Sr.

В то же время концентрация других химических элементов часто довольно низкая, приближающаяся к их содержаниям в незагрязненных почвах регионов, в которых расположены рассматриваемые города. Это может приводить к тому, что по содержаниям одних химических элементов почвы городов с населением 100–300 тыс. должны относиться к наиболее загрязненным, по сравнению с почвами других групп населенных пунктов, а по содержаниям других – к наименее загрязненным (иногда с концентрациями меньшими, чем кларковые значения для почв Земли).

Рассмотрим далее подробнее особенности распространенности химических элементов в почвах городов с населением 100–300 тыс.

5.4.2. Сравнение с кларковыми содержаниями почв земли

Средние содержания большинства химических элементов, характеризующие почвы городов с населением от 100 до 300 тысяч жителей, близки к кларку почв Земли (табл. 5.5). К существен-

но повышенным относятся As (4,2), Pb (4,3) и Zn (2,0) (в скобках кларки концентрации по отношению к кларкам почв Земли). К незначительно повышенным относятся Co (1,6), Li (1,7), Mo (1,8), P (1,8).

Значительно понижены (табл. 5.5), по сравнению с почвами Земли, средние содержания в почвах рассматриваемой группы городов Cr (0,2), Ge (0,3), Ga (0,5). В меньшей мере понижены средние содержания для почв рассматриваемых городов Mn (0,6), Ni (0,6).

Таким образом, в почвах рассматриваемой группы городов всего лишь больше чем в 2 раза превышают кларк почв Земли средние содержания только трех химических элементов: As, Pb и Zn. Это свидетельствует о том, что с уменьшением числа жителей в городах, идет существенное уменьшение техногенной нагрузки и почвы населенных пунктов по своим геохимическим особенностям приближаются к почвам Земли. Кроме того, отметим, что повышенные средние содержания в почвах городов образуют те химические элементы, которые входят в ассоциацию, соответствующую уровню развития науки и техники конца XX в. и начала XXI в. (см. главу 2, раздел 2.5).

Геохимические особенности и области применения As, Pb и Zn уже были указаны в разделе 5.2.2. Поэтому сейчас рассмотрим такие редкоиспользуемые элементы, как Nb, Sr и Y. О внесении Nb и Sr в ассоциацию элементов, образующих геохимическую аномалию, в качестве которой представлены почвы городов с населением 100–300 тыс. жителей, уже писалось (раздел 5.4.1). Несколько условно к этой ассоциации можно отнести Y, так как в почвах этой группы (а также в почвах городов с населением меньше 100 тысяч жителей) отмечается его повышенное, по сравнению с почвами других населенных пунктов, содержание (табл. 5.1). Некоторые геохимические особенности и области применения Nb, Sr и Y рассмотрим ниже.

Ниобий (Nb) является нечетноатомным химическим элементом, расположенным ниже «линии жизни». Этим во многом определяется его распространенность в земной коре и воздействие повышенных содержаний на живое вещество. Элемент относится к редким, его (Nb_2O_5) годовая зарубежная добыча в конце

XX в. немногим превышала 17 тыс. т; в XXI в. ожидается существенный рост его добычи.

Основная часть Nb используется для легирования специальных сталей и изготовление сверхжаропрочных сплавов. Кроме того, ниобий используется в электронике, оптике, химической, ядерной и сверхпроводниковой технике. Стал использоваться Nb и для защиты от коррозии оборудования для нефтедобычи и транспортировки.

Кларк Nb для почв А. П. Виноградовым не был установлен. По данным зарубежных исследователей он составляет $1{,}0 \cdot 10^{-3}$–$1{,}2 \cdot 10^{-3}$ %. Наиболее высокие содержания элемента характерны для светлых почв пустынь США (Шаклетт, 1984) и составляют $3 \cdot 10^{-3}$ %.

Стронций (Sr) относится к редкоиспользуемым четноатомным химическим элементам, расположенным несколько ниже «линии жизни». Он используется (пока в ограниченных количествах) при производстве низкотемпературных сталей, легких сплавов, керамики. Имеются перспективы его широкого использования в электронике, светотехнике, цветном телевидении. Годовое зарубежное использование Sr составляло в конце XX в. около 60 тыс. т.

Распространенность Sr в почвах Земли довольно высока, кларк равен $30 \cdot 10^{-3}$ %, что немного меньше кларка земной коры ($34 \cdot 10^{-3}$ %). Содержания металла в почвах во многом определяются составом почвообразующих (почвоподстилающих) горных пород, типом почв, климатическими и ландшафтно-геохимическими условиями. Это определило большой разброс средних содержаний Sr в почвах. Так, в бывшем СССР содержания металла по данным ряда исследователей колебались от $9 \cdot 10^{-3}$ % (в черноземах) до $68 \cdot 10^{-3}$ % (в лесных пойменных почвах). Над месторождениями Sr его содержание в почвах может доходить до 1 %.

Иттрий (Y) – редкоиспользуемый, нечетноатомный элемент, расположенный ниже «линии жизни», а поэтому его повышенные концентрации являются токсичными. Данные о его добыче весьма противоречивы, однако считается, что годовая зарубежная добыча Y_2O_3 в конце прошлого века составляла более 7 тыс. т, а около ее половины было добыто в Китае. По прогнозам ежегодное потребление металла в начале XXI в. может

достигнуть 14 тыс. т. В конце XX в. основными потребителями иттрия (по В. В. Иванову) были Япония (около 43 %), США (36 %) и Западная Европа (21 %).

Несмотря на редкость использования, иттрий применяется при изготовлении люминесцентных ламп, в оптике, в электронных и микроволновых устройствах, в нагревательных элементах. Велики перспективы его использования при производстве сверхпроводящих керамик, материалов для ядерных реакторов, специальных сталей и т. д.

Кларк для почв Земли у иттрия равен $5 \cdot 10^{-3}$ %, хотя по данным многих зарубежных и отечественных исследователей его среднее содержание в почвах $3–4 \cdot 10^{-3}$ % при высокой степени разброса (от 1 до $25 \cdot 10^{-3}$ %). Так, по данным Ю. Е. Саета, в черноземах Крыма содержание Y равно $4 \cdot 10^{-3}$ %, Кавказа, $2 \cdot 10^{-3}$ %, Московской области – $1{,}8 \cdot 10^{-3}$ %.

По данным китайских ученных, приводимым В. В. Ивановым, в условиях «повышенной радиоземельности» у детей не выявлено высокой степени интеллектуальности, хотя обычно с такой степенью бывает 29 %. С пониженным коэффициентом интеллектуальности в условиях с повышенным содержанием Y и других редкоземельных элементов оказалось 20 % детей, при обычных 2 %.

Теперь, по имеющимся данным, постараемся установить некоторые факторы, с которыми, вероятнее всего, связано повышенное, по сравнению с кларком почв Земли, среднее содержание ряда химических элементов в почвах отдельных городов из группы с населением от 100 до 300 тыс. жителей.

Среднее содержание мышьяка (As) в почвах городов рассматриваемой группы равно $2{,}1 \cdot 10^{-3}$ %, что в 4,2 раза больше, чем кларк As в почвах Земли (табл. 5.5). Распределение средних содержаний элемента в почвах отдельных городов с населением от 100 до 300 тыс. жителей довольно неравномерное. Так, в почвах г. Плимут его среднее содержание более, чем в 8 раз превосходит среднее содержание в почвах г. Рубцовска. Однако в почвах большей части городов средние содержания мышьяка изменяются от 1,5 до $3 \cdot 10^{-3}$ %.

Максимальные средние содержания As установлены для городов Плимут (4) и Эксетер (2,8) (в скобках среднее содержание

в $n \cdot 10^{-3}$ %). Плимут является городом-портом у пролива Ла-Манш. В городе находятся судостроительные верфи, производится переработка рыбы, есть пищевая (производство алкоголя) промышленность (вся эта информация взята из литературных данных). Вполне вероятно, что повышенные содержания мышьяка могли поступать в почвы города из сплавов цветных металлов. В городе Эксетер (по литературным данным) получили развитие предприятия сферы обслуживания. Отметим, что, хотя город выделен как с повышенным содержанием As, среднее содержание элемента в почвах города всего в 1,3 раза превышает среднее содержание в почвах всей рассматриваемой группы городов.

Пониженные средние содержания мышьяка отмечены в почвах г. Рубцовска Алтайского края ($0{,}49 \cdot 10^{-3}$ %) и Казахстанского г. Темиртау ($1 \cdot 10^{-3}$ %). Данные о содержаниях в обоих городах взяты из литературы.

Среднее содержание свинца (Pb) в почвах городов с населением от 100 до 300 тыс. жителей равно $4{,}3 \cdot 10^{-3}$ %. Оно в 4,3 раза превышает кларк почв Земли (табл. 5.5). Значительно повышенными содержаниями свинца отличаются почвы городов Черкесска, Эксетера, Актау (бывший г. Шевченко), Великого Новгорода и Братска (от 7,25 до $12{,}6 \cdot 10^{-3}$ %).

Максимальное среднее содержание ($12{,}6 \cdot 10^{-3}$ %) отмечено в почвах г. Черкесска. В городе расположено химическое производственное объединение, заводы холодильного машиностроения, радиотехнических изделий, цементный и автомобильный. Все они могут быть источниками определенного количества свинца.

Особенности антропогенной деятельности в городах Эксетер и Плимут с содержаниями Pb $11{,}6 \cdot 10^{-3}$ % и $7{,}8 \cdot 10^{-3}$ % уже рассматривались.

В г. Актау среднее содержание Pb равно $10{,}5 \cdot 10^{-3}$ %. Ранее в городе существовал комплекс по переработке урановых руд с соответствующими химическими предприятиями. В настоящее время город относят к одному из центров нефтедобычи; развиты пищевая промышленность и производство пластмасс.

В почвах г. Великий Новгород (железнодорожный узел) содержание Pb, по литературным данным, равно $9{,}5 \cdot 10^{-3}$ %. На территории города находятся предприятия радиоэлектронной,

химической, машиностроительной, деревообрабатывающей, пищевой и легкой промышленности. Все они являются определенными источниками Pb, попадающего в городскую почву.

Почвы г. Братска содержат, по литературным данным, $7{,}25 \cdot 10^{-3}$ % свинца. Вероятными источниками повышенных содержаний этого металла (кроме автотранспорта) могут быть алюминиевый комбинат и предприятия лесопромышленного комплекса.

В ряде городов с населением от 100 до 300 тысяч жителей, судя по литературным данным, средние содержания свинца в почвах существенно ниже среднего для почв этой группы городов. К ним относятся Атырау (0,3). Петропавловск (0,84), Рубцовск (1,16), Бобруйск (1,36), Барановичи (1,36), Орша (1,42) (в скобках средние содержания в $n \cdot 10^{-3}$ %). Возможно, приведенные средние содержания свинца (а все они вошли, в соответствие с принятой методикой, и в подсчет среднего для почв рассматриваемой группы, и в расчет кларка Pb для почв всех населенных пунктов), по какой-то причине (например, методы используемых анализов) были занижены. Во всяком случае, проведенные нами переопробование г. Барановичи и анализы проб в 3 различных лабораториях, в том числе в арбитражной, показали, что среднее содержание свинца в три раза выше официального ($3{,}9 \cdot 10^{-3}$ % вместо $1{,}3 \cdot 10^{-3}$ %).

Среднее содержание цинка (Zn) в почвах городов с населением от 100 до 300 тыс. жителей равно $9{,}95 \cdot 10^{-3}$ %, что в 2 раза выше кларка для почв Земли. Городами с повышенным средним содержанием в почвах Zn являются Братск (32,5), Черкесск (25,9), Кызылорда (22,43), Актау (19,5), Великий Новгород (19,0), Бийск (17,4), Плимут (16,5), Эксетер (15,4), Амьен (15,0), Талдыкорган (9,55) (в скобках приведены средние содержания в $n \cdot 10^{-3}$ %; все они, кроме г. Черкесска, Плимута, Эксетера и Амьена, даются по литературным данным). Техногенное поступление металла в почвы городов, как уже указывалось, связано с его очень широким использованием и для защиты многих металлов, и для получения различных сплавов, полупроводников, добавок к резине и т. д.

Особенности антропогенной деятельности в перечисленных городах (за исключением Бийска, Амьена и Талдыкоргана)

были приведены выше. В г. Бийске (по литературным данным) создаются средства специального назначения и располагаются химические предприятия. В Амьене развиты машиностроение и текстильная промышленность, а в Талдыкоргане – перерабатывающая, а также транспортировались Pb-Zn концентраты. Предприятия, находящиеся в этих городах, могли стать источниками определенных количеств Zn, поступающих в почвы.

Минимальное среднее содержание цинка (Zn) в почвах городов рассматриваемой группы было установлено (по литературным данным) для Черкасс (3), Темиртау (1,5), Актау (1,38), Атырау (1,15), Уральска (1,04).

Среднее содержание стронция (Sr) в почвах рассматриваемой группы городов ($37 \cdot 10^{-3}$ %) всего в 1,2 раза выше кларка почв Земли (табл. 5.5). Однако этот элемент в почвах городов с населением 100–300 тыс. жителей (вместе с почвами рекреационно-туристических центров) отличается наиболее высоким средним содержанием среди всех остальных групп населенных пунктов.

Наиболее высокие средние содержания Sr были установлены для почв городов Амьен (60) и Актау (59,6). Особенности антропогенной деятельности в этих городах уже приводились.

Минимальное среднее содержание в почвах установлено, по литературным данным, для г. Великий Новгород (6,0) (в скобках содержания $n \cdot 10^{-3}$ %).

Сравнение средних содержаний элементов в почвах городов с населением от 100 до 300 тыс. жителей с кларком почв позволило считать следующее.

- Число химических элементов со средним содержанием, значительно превышающим кларк почв, уменьшилось по сравнению с двумя ранее рассмотренными группами населенных пунктов с большим числом жителей.
- Элементы с существенно повышенным средним содержанием (As, Pb, Zn) были в повышенных средних концентрациях и в группах городов с большим числом жителей.
- Приуроченности городов из рассматриваемой группы с наиболее высокими содержаниями As, Pb и Zn к определенным регионам или климатическим зонам не выявлено.

5.4.3. Сравнение с кларковыми содержаниями земной коры

Данные, приведенные в табл. 5.5, показывают, что в почвах населенных пунктов с числом жителей 100–300 тыс. средние содержания 19 химических элементов превосходят кларк земной коры: Ag (6,6), As (12,3), Bi (253,3), Cd (3,9), Ge (1,1), Li (1,6), Mo (3,2), Nb (1,2), P (1,4), Pb (2,7), Sn (3,6), Sr (1,1), Tl (10,7), V (1,1), W (2,7), Y (1,8), Yb (9,1), Zn (1,2), Zr (2,4) (в скобках кларки концентрации по отношению к земной коре). Из них 11 превосходят кларк более чем в 2 раза, восемь – в 3 раза (Ag, As, Bi, Cd, Mo, Sn, Tl, Yb), а пять – более чем в 6 раз (Ag, As, Bi, Tl, Yb). Такие геохимические особенности почв группы городов с населением 100–300 тыс. жителей однозначно свидетельствуют о том, что при формировании рассматриваемых почв шли процессы, приведшие к их обогащению многими элементами. При этом элементы могли поступать в почвы городов из различных источников.

Чтобы подойти к установлению таких источников, рассмотрим средние содержания каких элементов и в почвах каких населенных пунктов с числом жителей 100–300 тыс. образуют наибольшие концентрации. К числу пяти элементов, среднее содержание которых в почвах более чем в 6 раз превосходит кларк, относятся Ag (6,6), Yb (9,1), Tl (10,7), As (12,3), Bi (253) (в скобках показано во сколько раз среднее содержание в почвах больше кларка земной коры).

Некоторые особенности поведения в биосфере и области применения Ag, As, Bi и Yb уже были приведены в разделах 5.2.2 и 5.2.3. Приведем такие же данные о таллии.

Таллий (Tl) нечетноатомный химический элемент, расположен значительно ниже «линии жизни». Это делает его повышенные концентрации настолько токсичными, что в 40–50-е годы XX в. в США его использовали в качестве яда для грызунов. По классификации А. И. Перельмана элемент по поведению в зоне гипергенеза относится к слабоподвижным водным мигрантам.

Таллий пока считается редким (редкоиспользуемым) химическим элементом. В конце XX в. его зарубежное годовое производство составляло всего 30 т. Применение его ограничено (возможно, это связано с ядовитостью повышенных содержаний).

Используется Tl, в основном, в электротехнике и электронике, а также при производстве инфракрасной техники.

Кларк таллия для почв Земли А. П. Виноградовым не был установлен. По данным H. J. M. Bowen (1979), среднее содержание элемента в почвах равно $0{,}02 \cdot 10^{-3}$ %. Разброс содержаний Tl в почвах очень велик, так, в США в верхнем горизонте почв его содержание меняется от 0,002 до $0{,}28 \cdot 10^{-3}$ %, а максимальные концентрации были связаны с близостью к рудникам.

В рассматриваемой группе максимальное *среднее содержание серебра (Ag)* установлено в почвах г. Актау ($0{,}15 \cdot 10^{-3}$ %), а минимальное – в г. Черкесске ($0{,}03 \cdot 10^{-3}$ %). Особенности развития промышленности в этих городах уже приводились (раздел 5.4.2).

Среднее содержание мышьяка (As) в почвах группы городов с населением 100–300 тыс. жителей с рассмотрением населенных пунктов, в почвах которых существенно повышены (понижены) средние содержания As, также уже приводилось (раздел 5.4.2).

Среднее содержание висмута (Bi) в почвах городов рассматриваемой группы равно $0{,}23 \cdot 10^{-3}$ %, оно в 253 раза выше кларка земной коры. Большой кларк концентрации металла может объясняться его широким применением в ядерной, машиностроительной, химической и т. д. промышленностях (см. раздел 5.2.3). Наибольшее среднее содержание Bi отмечено в почвах г. Междуреченска ($0{,}45 \cdot 10^{-3}$ %) и г. Актау (по литературным данным $0{,}27 \cdot 10^{-3}$ %). Особенности антропогенной деятельности в этих городах, как и в г. Эксетере, с минимальным средним содержанием в почвах ($0{,}1 \cdot 10^{-3}$ %) рассмотрены в разделе 5.4.2.

Среднее содержание таллия (Tl) в почвах городов с числом жителей от 100 до 300 тыс. равно $1{,}07 \cdot 10^{-3}$ %. Оно в 10,7 раза превышает кларк земной коры ($0{,}1 \cdot 10^{-3}$ %). Это можно рассматривать как результат общих процессов почвообразования и как результат антропогенного поступления элемента в почвы городов. Наиболее высокое среднее содержание таллия в почвах городов определено, по литературным данным, в городе Актау. О развитии антропогенной деятельности в городе написано в разделе 5.4.2.

Среднее содержание иттрия (Y) в почвах городов с населением от 100 до 300 тысяч жителей равно $3{,}65 \cdot 10^{-3}$ %. Оно

в 1,8 раза выше его кларка земной коры. Максимально высокое среднее содержание этого химического элемента среди изученных городов группы отмечено в городе Амьен ($5 \cdot 10^{-3}$ %). В г. Амьен (судя по опубликованным данным) наибольшее развитие получили предприятия машиностроительной и текстильной промышленности. Среднее содержание иттрия в городе Амьен, хотя и в 2,5 раза выше кларка земной коры, однако не может считаться аномально высоким для почв Земли, кларк которых тоже равен $5 \cdot 10^{-3}$ %.

Среднее содержание иттербия (Yb) в почвах городов рассматриваемой группы равно $0{,}3 \cdot 10^{-3}$ %, что почти на порядок выше кларка земной коры ($0{,}033 \cdot 10^{-3}$ %). Напомним, что кларк иттербия для почв Земли не был установлен А. П. Виноградовым, а по данным Х. Шаклетт (1984), для содержаний Yb в почвах США среднее, определенное нами, не является аномальным.

Наибольшее среднее содержание элемента установлено в почвах ранее описанного г. Амьен. Оно равно $0{,}5 \cdot 10^{-3}$ % и вряд ли в повышении этого среднего содержания была велика роль техногенного поступления.

Все изложенное в этом разделе позволяет считать следующее:

• Значительно повышенные, по сравнению с кларком земной коры, средние содержания в почвах группы городов с населением 100–300 тыс. для таких элементов, как Bi, As и Ag, вероятнее всего, связаны с процессами техногенеза, протекающими в городах группы.

• Повышенные, по сравнению с кларком земной коры, средние содержания в почвах редкоиспользуемых Y, Yb и Tl являются обычными для почв крупных регионов. Это не дает основания для увязки содержаний в почвах городов иттербия (Yb) и (Tl) с процессами техногенеза.

• Среднее содержание висмута (Bi) в почвах городов с населением 100–300 тыс. является наибольшим для средних содержаний в почвах всех групп населенных пунктов.

5.4.4. Сравнение с кларковыми содержаниями почв населенных пунктов

Средние содержания 5 элементов в почвах городов с населением 100–300 тыс. превышают кларк почв населенных пунктов более чем в 1,5 раза. Это Tl (в 9,3), Bi (в 2,0), Zr и Y (оба в 1,6) и Nb (в 1,54) (в скобках указано превышение). Города группы с повышенными содержаниями в почвах висмута (Bi) и таллия (Tl) уже рассматривались.

Повышенное содержание в почвах городов циркония (Zr), элемента относящегося к числу наиболее используемых из редких элементов, может быть связано с техногенезом. Элемент применяется в литейном производстве, атомной энергетике, машиностроении, производстве огнеупорных сплавов и металлокерамики, электронике и т. д. Годовая добыча ZrO_2 в конце прошлого века составила более 600 млн. лет.

Однако и без техногенеза содержание Zr в определенных типах почв отдельных регионов может превышать величину $40 \cdot 10^{-3}$ %, а она является средней для почв рассматриваемой группы городов.

Необходимо также отметить, что среднее содержание циркония в почвах городов с населением 100–300 тыс. выше средних содержаний этого элемента в почвах других групп населенных пунктов. Следовательно, нельзя содержания Zr в почвах всех населенных пунктов безоговорочно связывать с антропогенной деятельностью.

Среднее содержание иттрия (Y), так же, как Bi, Nb, Zr, Yb и Tl, в почвах городов с числом жителей 100–300 тыс. является самым большим в почвах выделяемых групп населенных пунктов ($3{,}7 \cdot 10^{-3}$ %). Оно в 1,6 раза выше кларка почв населенных пунктов. По сравнительно редким публикациям о содержании Y в почвах, можно говорить о том, что его среднее содержание в почвах рассматриваемой группы городов располагается между кларком почв Земли и фоновыми содержаниями в почвах ряда регионов. Это, с учетом вышеизложенного, не позволяет достоверно связывать содержания иттрия как в почвах данной группы, так и в почвах других групп с процессами техногенеза. Дефицит иттрия (Y) в почвах, по мнению Ю. А. Балашова

(1976), связан с его выносом. Техногенные особенности городов группы с повышенным содержанием в почвах иттрия были изложены выше.

Ниобий (Nb) содержится в почвах городов рассматриваемой группы со средним содержанием $2{,}4 \cdot 10^{-3}$ %. Это в 1,5 раза выше кларка почв населенных пунктов и, как указывалось, является самым высоким для средних содержаний Nb в почвах всех выделяемых нами групп. По данным различных исследователей, среднее содержание в почвах металла изменяется в очень широких пределах – от 0,3 до $30 \cdot 10^{-3}$ %. Однако большинство исследователей указывает как на наиболее вероятное среднее – величину, равную $1{,}0–1{,}2 \cdot 10^{-3}$ %, что в 2 раза меньше среднего для почв населенных пунктов с числом жителей 100–300 тыс. Вероятно, что определенное количество металла поступало в почвы городов и в результате антропогенной деятельности.

Все приведенные данные позволяют считать следующее.

• В почвах населенных пунктов с числом жителей 100–300 тыс. средние содержания Tl, Bi, Zr, Y и Nb больше чем в 1,5 раза превышают кларк почв населенных пунктов, а Yb – в 1,24 раза. Средние содержания этих элементов в почвах являются самыми большими среди средних содержаний во всех других группах населенных пунктов.

• Для содержания в почвах городов таких редких элементов, как Tl, Y, как и для ранее рассмотренного Yb, не всегда главными являются процессы техногенеза.

• Особенности распространенности ряда перечисленных элементов подтверждают необходимость выделения группы городов с населением 100–300 тыс.

5.4.5. Общие закономерности

Анализ изложенных выше геохимических особенностей почв городов с населением от 100 до 300 тыс. жителей позволил установить некоторые общие закономерности. Так, можно сделать предварительные выводы о том, какие процессы могли привести к концентрации элементов в почвах рассматриваемой группы городов.

1. Если содержание в почвах городов выше, чем в почвах Земли, а в почвах Земли выше, чем в земной коре, то можно предполагать, что *процессы почвообразования способствовали накоплению элементов, но кроме этих процессов важную роль играли и другие.* К последним мы, в основном, относим процессы техногенеза. Как видно из табл. 5.5, по предлагаемой схеме могло идти обогащение почв городов As, Cd, Mo, Zr.

2. Если содержание элементов в почвах городов с населением от 100 до 300 тысяч жителей выше кларка почв Земли и кларка земной коры, но кларк земной коры выше кларка почв Земли, можно предполагать, что в концентрации элементов в почвах городов *роль процессов почвообразования была не столь велика, как процессов техногенеза.* К таким элементам можно отнести Li, P, Pb, Sr, Zn.

3. В случаях, когда содержания в почвах городов рассматриваемой группы выше кларка земной коры, но меньше кларка почв Земли, вполне вероятно, что роль техногенных процессов не превышала роли для концентрации элементов в почвах городов общих процессов почвообразования. К элементам, рассматриваемым в почвах городов с населением 100–300 тысяч жителей и сконцентрированным по такой схеме, относятся Ag, Sn, Y, Ge.

4. Средние содержания ряда редких (редкоиспользуемых) химических элементов, таких, как Nb, Sr, Y, Yb, Zr, отличаются более высокими содержаниями в почвах городов с населением от 100 до 300 тысяч жителей, чем в почвах населенных пунктов других групп. Однако средние содержания Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Ga, Ge, Mn, Ni и Ti в почвах городов с населением 100–300 тыс. жителей меньше, чем в почвах городов других групп.

5. В почвах населенных пунктов с числом жителей 100–300 тыс. жителей средние содержания Tl, Bi, Zr, Yи Nb более чем в 1,5 раза превышают величину кларка почв населенных пунктов. Это и положения, рассмотренные в пункте «4» раздела 5.4.5, однозначно свидетельствуют о необходимости, при детальных эколого-геохимических исследованиях почв населенных пунктов, разделения городов с учетом числа жителей.

6. Так же, как и в ранее рассмотренных группах населенных пунктов, в анализируемой группе выделяются отдельные

города, в которых повышены средние содержания нескольких элементов. Это Плимут, Эксетер, Братск, Актау. Вероятно, с увеличением числа городов, составляющих выборку, количество таких городов возрастет, что связано с законом об ассоциациях химических элементов, образующих крупные техногенные аномалии.

5.5. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВ ГОРОДОВ С ЧИСЛОМ ЖИТЕЛЕЙ МЕНЕЕ 100 ТЫСЯЧ

5.5.1. Общие сведения

В эту группу мы объединили города с населением менее 100 тысяч. В нее вошли опробованные нами населенные пункты Краснодарского и Ставропольского краев, Ростовской и Ленинградской областей России, а также города Казахстана, Франции и Бельгии. Кроме того, во всех расчетах использовались опубликованные данные о содержании химических элементов в почвах городов с населением менее 100 тыс. Алтайского края, Еврейской АО, Московской, Воркутинской и Новосибирской областей России, а также города Белоруссии, Украины, Казахстана, Польши. Все это позволило дать довольно объективную оценку геохимическим особенностям почв населенных пунктов, находящихся в различных климатических и ландшафтно-геохимических условиях и объединенных по важнейшему, с нашей точки зрения, признаку – числу жителей.

Отметим, что в таких городах обычно развиты не многочисленные, а лишь отдельные, иногда довольно крупные, предприятия определенных отраслей промышленности, или же эти города являются небольшими морскими портами и транспортными узлами. Однако именно эти предприятия часто определяют геохимическую специфику почв отдельных селитебных ландшафтов рассматриваемой группы. К городам, геохимическая обособленность которых во многом определяется одним–двумя предприятиями, следует отнести, в первую очередь, связанные с добычей и переработкой полезных ископаемых. Это в Казахстане – Текели и Риддер (полиметаллы), Жезказган и Балхаш (медь); в Белоруссии – Солигорск (калийные соли); в России –

Апатиты и Кировск (апатит-нефелиновые руды), Воркута (уголь), Уяр (слюда), Горняк (полиметаллы). Геохимическое своеобразие почв может быть связано с перевалкой грузов, особенно в городах-портах, к которым относятся Туапсе, Темрюк, Кронштадт. Химические элементы, связанные с поступлением в почвы из предприятий перечисленных городов, определили своеобразие почв группы городов с населением менее 100 тысяч жителей. Это хорошо видно из данных табл. 5.1. В почвах рассматриваемой группы городов повышены, по сравнению с почвами из других групп, только редкие химические элементы. Но, как показывает анализ общей ситуации, редкие элементы накапливались в почвах этих городов в основном не за счет их хозяйственного использования, а просто как загрязняющие вещества, поступающие при добыче и переработке полезных ископаемых (рудных и нерудных). Судя по невысоким (относительно почв других групп городов) содержаниям большинства остальных элементов, их антропогенное поступление в почвы городов с населением менее 100 тысяч было незначительным.

5.5.2. Сравнение с кларковыми содержаниями почв земли

Данные, приведенные в табл. 5.6, показывают, что средние содержания в почвах городов многих из определяемых химических элементов, превосходят кларковые содержания почв Земли. При этом у шести элементов средняя концентрация в почвах городов превосходит кларк более чем в 2 раза. Это Cl (2,4), Cd (2,84), As (3,0), Pb (3,95), Ca (5,6), B (43,5). (В скобках указаны цифры, показывающие, во сколько раз установлено превышение над кларком Земли). Превосходят кларк более чем в полтора раза 6 элементов: P (1,5), Li (1,53), Sc (1,68), Co (1,83), Zn (1,85), Ba (1,96). Еще семь элементов превышают кларк почв Земли в 1,03–1,45 раза.

Среднее содержание в почвах городов части элементов из последней группы очень близко к кларковому содержанию в почвах Земли (Zr, V, Sr, S, Mo). Содержание этих элементов можно рассматривать как следствие своеобразной тенденции протекающих сейчас процессов, приводящих к концентрации элементов в почвах городов с населением меньше 100 тыс. Превышение

Таблица 5.6

Распространённость химических элементов в почвах городов с численностью населения менее 100 тыс. чел. в сравнении с земной корой, кларком почв Земли и кларком почв населённых пунктов (содержание всех элементов в $n \cdot 10^{-3}$ % массы)

Table 5.6

The concentrations of chemical elements in the soils of cities with the number of population less than 100 thousand people comparing with the Earth's crust, the Earth's soil cover and urban soils (concentrations of all elements in $n \cdot 10^{-3}$ %)

Элемент	Номер элемента	Среднее содержание в почвах городов с численностью населения менее 100 тыс. чел.	Кларк земной коры (по А. П. Виноградову)	Кларк концентрации по отношению к земной коре	Кларк почв Земли (по А. П. Виноградову)	Кларк концентрации по отношению к почвам Земли	Кларк почв населённых пунктов	Кларк концентрации по отношению к почвам населённых пунктов
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ag	47	0,037	0,007	5,2	0,050	0,7	0,037	1,0
Al	13	4483,653	8050,000	0,6	7130,000	0,6	3820,000	1,2
As	33	1,501	0,170	8,8	0,500	3,0	1,592	0,9
B	5	43,453	1,200	36,2	1,000	43,5	4,500	9,7
Ba	56	98,041	65,000	1,5	50,000	2,0	85,312	1,1
Be	4	0,193	0,380	0,5	0,600	0,3	0,326	0,6
Bi	83	0,096	0,001	106,9	–	–	0,112	0,9
Ca	20	7667,342	2960,000	2,6	1370,000	5,6	5380,000	1,4
Cd	48	0,142	0,013	10,9	0,050	2,8	0,090	1,6
Cl	17	23,950	17,000	1,4	10,000	2,4	28,500	0,8
Co	27	1,465	1,800	0,8	0,800	1,8	1,409	1,0
Cr	24	8,151	8,300	1,0	20,000	0,4	8,000	1,0

Продолжение табл. 5.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Cs	55	–	0,370	–	0,500	–	n·1,0	–
Cu	29	2,818	4,700	0,6	2,000	1,4	3,897	0,7
Fe	26	2656,933	4650,000	0,6	3800,000	0,7	2190,000	1,2
Ga	31	1,521	1,900	0,8	3,000	0,5	1,619	0,9
Ge	32	0,261	0,140	1,9	0,500	0,5	0,181	1,4
Hg	80	–	0,008	–	0,001	–	0,088	–
K	19	1276,841	2500,000	0,5	1360,000	0,9	1340,000	1,0
La	57	–	2,900	–	4,000	–	3,400	–
Li	3	4,590	3,200	1,4	3,000	1,5	4,945	0,9
Mg	12	911,427	1870,000	0,5	630,000	1,4	790,000	1,2
Mn	25	45,752	100,000	0,5	85,000	0,5	72,870	0,6
Mo	42	0,260	0,110	2,4	0,200	1,3	0,244	1,1
Na	11	591,694	2500,000	0,2	630,000	0,9	580,000	1,0
Nb	41	1,699	2,000	0,8	–	–	1,570	1,1
Ni	28	1,841	5,800	0,3	4,000	0,5	3,299	0,6
P	15	120,367	93,000	1,3	80,000	1,5	120,047	1,0
Pb	82	3,953	1,600	2,5	1,000	4,0	5,449	0,7
Rb	37	6,300	15,000	0,4	10,000	0,6	5,800	1,1
S	16	105,000	47,000	2,2	85,000	1,2	120,000	0,9
Sb	51	7,783	0,050	155,7	–	–	0,100	77,8
Sc	21	1,177	1,000	1,2	0,700	1,7	0,942	1,2
Si	14	25 533,799	29 500,000	0,9	33 000,000	0,8	28 900,000	0,9
Sn	50	0,740	0,250	3,0	1,000	0,7	0,677	1,1
Sr	38	32,453	34,000	1,0	30,000	1,1	45,783	0,7
Ta	73	–	0,250	–	–	–	0,150	–
Ti	22	448,909	450,000	1,0	460,000	1,0	475,792	0,9

Окончание табл. 5.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tl	81	0,222	0,100	2,2	–	–	0,114	1,9
V	23	10,407	9,000	1,2	10,000	1,0	10,486	1,0
W	74	0,347	0,130	2,7	–	–	0,288	1,2
Y	39	2,545	2,000	1,3	5,000	0,5	2,335	1,1
Yb	70	0,300	0,033	9,1	–	–	0,243	1,2
Zn	30	9,238	8,300	1,1	5,000	1,8	15,800	0,6
Zr	40	30,871	17,000	1,8	30,000	1,0	25,559	1,2

над распространенностью в почвах Земли в 1,4 раза Cu и в 1,5 раза Mg может рассматриваться как начавшееся загрязнение почв городов с числом жителей менее 100 тыс.

Так как хлор, кальций и бор определялись в почвах не всех населенных пунктов (см. § 1.13) особенности антропогенной нагрузки в городах с максимальными содержаниями этих элементов отдельно не приводятся. Ниже рассмотрим только общие сведения о поведении этих элементов в почвах.

В городских почвах содержание хлора (Cl) распределено довольно неравномерно; им обогащены бессточные участки. Считается, что основным минералом, содержащим хлор в почвах, является NaCl. В городах важнейшими источниками хлора являются предприятия пищевой промышленности, предприятия по производству хлорсодержащих органических и неорганических соединений, отбелки целлюлозы и тканей. В отдельных случаях повышенное содержание хлора в почвах может быть связано с использованием инсектицидов – ДДТ и веществ типа $C_nH_mCl_c$.

Кальций (Ca) – четноатомный химический элемент, расположенный практически на «линии жизни». Это значит, что элемент широко распространен в природе и его недостаток оказывает большее отрицательное воздействие на живое вещество, чем избыток. Карбонатные породы (важнейший источник Ca в окружающей нас среде) используются в основном для производства цемента, извести, строительных и облицовочных материалов, в оптике, в качестве флюса в металлургии и т. д. Мировая добыча кальцийсодержащего сырья составляет миллиарды тонн. Кларк Ca в земной коре равен, по А. П. Виноградову, 2,96 %, а в почвах Земли – 1,37 %. Значительные количества Ca в аридных условиях концентрируются в почвах в виде $CaCO_3$ и $CaSO_4$ на испарительных и термодинамических барьерах. В связи с этим довольно большое значение для накопления элемента имеет состав подземных вод.

Содержание в почвах кальция колеблется в очень широких пределах: в бурых пустынно-степных почвах его содержание всего $280 \cdot 10^{-3}$ %, а в светло-каштановых почвах Северного Кавказа – $11\,440 \cdot 10^{-3}$ %. Считается, что содержание в почвах Ca определяется их (и почвоподстилающих горных пород) общим

химическим и гранулометрическим составом, степенью эродированности почв, климатическими особенностями регионов. По классификации А. И. Перельмана, кальций в зоне гипергенной миграции относится к подвижным водным мигрантам с постоянной валентностью.

Химическая активность в сочетании с высоким кларком литосферы позволили А. И. Перельману (1972) отнести Ca к типоморфным химическим элементам во многих геохимических системах биосферы. В почвах с кислой реакцией значительная часть кальция выносится (кислое выщелачивание). В условиях влажного климата (практически во всех районах) на известняках и доломитах рассматриваемый элемент накапливается и идет формирование так называемых кальциевых ландшафтов. Такие условия характерны для многих рекреационно-туристических центров и концентрация в их почвах Ca может быть совершено не связанной с антропогенной деятельностью. В культурных ландшафтах, а к ним относят и населенные пункты рассматриваемой группы, содержание Ca в почвах повышено: часто за счет антропогенного известкования.

В связи с изложенным, отмечаемое повышенное среднее содержание кальция в почвах городов с населением менее 100 тыс., по нашему мнению, не следует считать геохимической аномалией в системе почв населенных пунктов. Само среднее содержание следует рассматривать (как и кларк почв Земли) как своеобразный репер, установленный в конце XX – начале XXI в., для различных геохимических построений.

Содержание в почвах бора (B), как и других химических элементов, зависит от многих факторов. Бор считается одним из наиболее подвижных элементов почв, в которых он может находиться в минеральной форме, в виде недиссоциированных соединений H_3BO_3 и $B(OH)_4$, в водных растворах – $H_2BO_3^-$ и $B_4O_7^{2-}$ (Кабата-Пендиас и др.).

К числу основных факторов, влияющих на концентрацию бора в почвах, оказывают влияние сам состав почв, содержание элемента в почвообразующих (почвоподстилающих) горных породах, кислотно-щелочные условия, содержание гумуса, климатические условия. В зависимости от их сочетания содержание бора в почвах отдельных районов изменяется от 0,5 до

$100 \cdot 10^{-3}$ % (В. В. Иванов). Содержание элемента увеличивается в щелочных почвах супераквальных ландшафтов жарких аридных зон. В солончаках (по данным А. И. Перельмана бор находится, в основном, в водорастворимой форме) и продуктах извержения грязевых вулканов установлено наибольшее содержание элемента – до $100 \cdot 10^{-3}$ %.

При антропогенном загрязнении содержание бора в верхнем почвенном горизонте достигает $30 \cdot 10^{-3}$ %. Избыток элемента может уничтожаться гипсованием (В. В. Иванов).

По результатам работ, проводимых после установления кларка почв А. П. Виноградовым, содержание бора в почвах уточнялось и считается более высоким: $3 \cdot 10^{-3}$ % (К. И. Лукашев), $3{,}6 \cdot 10^{-3}$ % (А. А. Беус), $3{,}9 \cdot 10^{-3}$ % (Э. К. Буренков). Кабата-Пендиас с соавторами приводят значение равное $3{,}3 \pm 0{,}5 \cdot 10^{-3}$ %.

Бор к настоящему времени широко используется в промышленности. Его (B_2O_3) годовая мировая добыча в конце XX в. приближалась к 3,5 млн т. Основное применение бора связано с производством ракетного топлива, с использованием в атомной энергетике, машиностроении, металлургии, медицине, производстве полупроводников, удобрений и т. д.

Далее постараемся, по известным данным, установить какие факторы могли повлиять на существенное увеличение содержаний химических элементов, со средним содержанием более чем в 2 раза превосходящим кларк почв Земли. Для этого выделим города рассматриваемой группы со значительно повышенным содержанием в почвах As, Cd и Pb.

Среднее содержание мышьяка (As) в почвах городов с населением меньше 100 тысяч жителей равно $1{,}5 \cdot 10^{-3}$ %, что в 3 раза больше кларка почв Земли ($0{,}5 \cdot 10^{-3}$ %). Распределены средние содержания элемента в почвах городов довольно неравномерно. Более высокие средние концентрации установлены для городов Абинска (2,3), Кропоткина (2,1), Туапсе и Крымска (2,0) (в скобках содержания $n \cdot 10^{-3}$ %); все они расположены в Краснодарском крае.

В г. Абинске ранее существовало радиотехническое предприятие, относительно развиты производство стройматериалов, металлообработка и переработка сельскохозяйственной продукции; является также одним из центров добычи нефти на юге России.

В городах Кропоткине и Крымске развиты химическая промышленность, машиностроение, производство строительных материалов. Оба города являются транспортными узлами.

Город Туапсе является морским портом и одновременно курортным центром; в городе находится довольно крупное нефтеперерабатывающее (химическое) предприятие, ведется производство строительных материалов.

Особое место среди рассматриваемых населенных пунктов занимает старый город Текели (Казахстан) с обогатительной полиметаллической фабрикой и «хвостохранилищем». Среднее содержание As в почвах города ($7 \cdot 10^{-3}$ %) отнесено к «ураганным» и в процессе статистической обработки, по принятой методике, было заменено на $1{,}9 \cdot 10^{-3}$ %.

Общей техногенной нагрузкой для рассмотренных городов являются металлообработка, производство строительных материалов и отчасти химические предприятия. Однако в почвах городов с подобным набором предприятий встречаются и наименьшие содержания мышьяка. Населенными пунктами с такими содержаниями являются Славгород (0,19), Уяр (0,9), Искитим (1,1) (в скобках содержания $n \cdot 10^{-3}$ %; все по литературным данным). Видимо, техногенное поступление As в почвы городов зависит не столько от отрасли промышленности, сколько от конкретного профиля расположенного в городе предприятия.

Среднее содержание кадмия (Cd) в почвах городов с населением менее 100 тысяч жителей равно $0{,}14 \cdot 10^{-3}$ %. Оно в 2,8 раза выше кларка почв Земли ($0{,}05 \cdot 10^{-3}$ %). Все наибольшие и наименьшие средние содержания металла в почвах отдельных городов приводятся по литературным данным. К городам с наибольшим содержанием в рассматриваемой группе относятся Балхаш, Риддер, Уяр.

Города Балхаш и Риддер относятся к крупнейшим центрам, связанным с переработкой медных (Балхаш) и полиметаллических (Риддер) руд. Рядом с городами добываются сульфидные медные и полиметаллические руды. Средние содержания кадмия в почвах этих городов соответственно равны 1,12 и $1{,}08 \cdot 10^{-3}$ % и определяются спецификой указанных предприятий.

В г. Уяр содержание кадмия несколько меньше ($0{,}9 \cdot 10^{-3}$ %); в городе находится нефтеналивной терминал, производятся стройматериалы, есть слюдяная фабрика.

Пониженные содержания Cd в почвах приводятся исследователями в городах Белоруссии. Это Калинковичи (0,016), Ельск (0,017), Лида (0,025) (в скобках содержания $n \cdot 10^{-3}$ %).

Среднее содержание свинца (Pb) в почвах населенных пунктов с числом жителей менее 100 тысяч равно $3{,}95 \cdot 10^{-3}$ %. Практически оно в 4 раза выше кларка почв Земли. Распределены средние содержания в почвах отдельных городов рассматриваемой группы крайне неравномерно, что было характерно и для почв городов в других группах. Максимальное среднее содержание свинца установлено для почв г. Кронштадт ($22{,}8 \cdot 10^{-3}$ %), а минимальное ($0{,}78 \cdot 10^{-3}$ %) (по литературным данным) – для почв г. Добруш в Белоруссии. Отметим, что в старой части г. Текели (Казахстан) среднее содержание металла, отнесенное к «ураганным», равно $225{,}0 \cdot 10^{-3}$ %. При статистической обработке оно было заменено, в соответствии с принятой методикой, на среднее $8{,}2 \cdot 10^{-3}$ %, которое и было использовано при дальнейшей обработке анализов.

Города, в почвах которых установлены наибольшие средние содержания свинца, а это – Текели (225,0), Кронштадт (22,8), Константиновка и Кагарлык на Украине (соответственно 17,3 и 13,8 по литературным данным), Климовск (14,2 по литературным данным), Туапсе (12,5) (в скобках средние содержания в $n \cdot 10^{-3}$ %) расположены в различных климатических условиях и в районах с различной геологической ситуацией.

К населенным пунктам с существенно пониженным средним содержанием в почвах свинца относятся (по литературным данным) города Белоруссии: Добруш, Ельск, Буда-Кошелево ($0{,}78 \cdot 10^{-3}$–$0{,}80 \cdot 10^{-3}$ %). В этих городах есть предприятия пищевой промышленности, а в г. Добруш – бумажная фабрика и фарфоровый завод.

Полученные данные о распространенности и распределении химических элементов в почвах городов с населением менее 100 тысяч жителей в сравнении с содержаниями в почвах Земли дают основание для следующих заключений:

• Число элементов со значительно повышенным средним содержанием в почвах рассматриваемых населенных пунктов, по сравнению с кларком почв Земли, относительно невелико. Общее же число элементов в почвах малых городов с содержаниями выше кларка почв Земли довольно большое – почти 40 %. Это можно рассматривать как последствия начавшегося начального этапа формирования крупной техногенной геохимической аномалии.

• Наибольшие средние содержания в почвах отдельных населенных пунктов рассматриваемой группы часто превышают средние содержания в почвах других городов этой же группы более, чем в 10, а иногда и в 100 раз. Это является следствием крайне неравномерного распределения (часто полного отсутствия) предприятий определенного профиля в ряде городов. Особенно контрастно выглядят почвы городов, связанных с добычей и переработкой руд.

5.5.3. Сравнение с кларковыми содержаниями земной коры

Средние содержания большинства химических элементов в почвах городов с населением менее 100 тысяч жителей превосходят кларки этих элементов земной коры. При этом у ряда элементов кларк концентрации колеблется от 1,1 до 1,8, что свидетельствует только о тенденции к накоплению этих элементов в почвах городов по сравнению с земной корой. У 15 элементов среднее содержание в почвах населенных пунктов рассматриваемой группы превышает соответствующие кларки более, чем в 1,9 раза (Ag, As, B, Bi, Ca, Cd, Ge, Mo, Pb, S, Sb, Sn, Tl, W, Yb). Это явно указывает на то, что содержание в почвах городов не является полным отражением геохимических особенностей почвоподстилающих (почвообразующих) горных пород, а отвечает совместному воздействию ряда факторов. Из них важнейшими могут быть общие процессы почвообразования и конкретное в каждом населенном пункте антропогенное воздействие на почвы.

Сравнение средних содержаний химических элементов в почвах городов с населением менее 100 тысяч жителей с кларками почв Земли и кларками земной коры позволяет, в первом приближении, сделать выводы о роли каждого из указанных выше

факторов (подробнее см. раздел 5.4.5):

• для As, Cd, Mo, V, S общие процессы почвообразования способствовали накоплению этих элементов в почвах городов, но важную роль играли и другие и, вероятно, в первую очередь – техногенез;

• для B, Ca, Cl, Li, P, Pb, Sc, Zn можно предположить, что роль общих процессов почвообразования в их концентрации в почвах городов группы была не столь велика, как процессов техногенеза;

• для Ag, Ge, Sn,Y, Zr, вероятнее всего, роль техногенных процессов в концентрации в почвах городов с населением меньше 100 тысяч жителей не превышала роли общих процессов почвообразования.

Приведенные данные показывают: несмотря на то, что в группе рассматриваемых городов мало крупных промышленных предприятий, концентрацию значительной части элементов в почвах можно объяснить, в основном, процессами техногенеза. Отметим только, что среди приведенных выше химических элементов нет информации о тех, кларк почв Земли для которых не был установлен А. П. Виноградовым (Bi, Sb, Tl, W, Yb и др.), но роль процессов техногенеза в концентрации которых могла быть (а часто была) значительной.

Теперь рассмотрим некоторые особенности накопления в почвах городов элементов, с кларком концентрации больше 5, по отношению к кларкам земной коры. Таких элементов 6. Это Ag (5,2), As (8,8), Yb (9,1), B (36,2), Cd (10,9), Bi (106,9).

Среднее содержание серебра (Ag) в почвах населенных пунктов с числом жителей менее 100 тысяч ($0{,}037 \cdot 10^{-3}$ %) более чем в 5 раз превосходит кларк металла в земной коре. Судя по такому большому превышению, роль техногенного поступления в почвы городов Ag была не меньшей, чем общих процессов почвообразования. Наиболее высокие средние содержания металла установлены в почвах городов Кропоткина (0,1), Суаньи (0,1) и Текели (0,07) (в скобках содержания $n \cdot 10^{-3}$ %). Особенности развития промышленных предприятий в Кропоткине и Текели рассматривались выше (раздел 5.5.2). В г. Суаньи (Бельгия) расположены стеклодувные предприятия и проводится обработка «голубого известняка».

Среднее содержание мышьяка (As) в почвах рассматриваемой группы городов почти в 9 раз превышает кларк земной коры. Это, в целом, свидетельствует о незначительном влиянии горных пород на повышенную концентрацию As в почвах городов, техногенные особенности которых приведены в разделе 5.5.*2*.

Среднее содержание иттербия (Yb) в почвах городов с населением менее 100 тысяч жителей ($0{,}3 \cdot 10^{-3}$ %) превосходит кларк земной коры в 9 раз. Однако это среднее содержание, в определенной мере, нужно рассматривать как ориентировочное, так как элемент определялся в почвах не всех городов и литературных данных, о его содержании в городах с населением менее 100 тыс. жителей чрезвычайно мало. Необходимо отметить и то, что установленное нами содержание Yb практически равно его среднему содержанию в поверхностном слое почв различных регионов, установленному рядом зарубежных исследователей. Из изученных нами городов группы, наибольшее среднее содержание иттербия ($0{,}5 \cdot 10^{-3}$ %) выявлено в г. Амьен (Франция), в котором получили развитие предприятия текстильной промышленности и машиностроение.

Среднее содержание кадмия (Cd) в почвах городов с населением менее 100 тысяч жителей ($0{,}14 \cdot 10^{-3}$ %) превосходит кларк земной коры более чем в 10 раз, что вместе с ранее рассмотренными факторами может свидетельствовать о том, что в накоплении металла в почвах городов значительная роль принадлежала антропогенной деятельности. Сведения о распространенности средних содержаний Cd в почвах отдельных городов группы приведены в разделе 5.5.2.

Среднее содержание висмута (Bi) в почвах городов рассматриваемой группы ($0{,}096 \cdot 10^{-3}$ %) превосходит кларк земной коры более чем в 100 раз (табл. 5.6) и примерно в 4 раза среднее содержание в почвах, установленное после работ А. П. Виноградова. Разброс средних содержаний Bi в почвах отдельных городов с населением меньше 100 тысяч жителей довольно мал. Небольшим средним содержанием элемента в почвах отличаются, из рассматриваемых нами городов, Темрюк ($0{,}15 \cdot 10^{-3}$ %), Туапсе ($0{,}13 \cdot 10^{-3}$ %) и Кропоткин ($0{,}12 \cdot 10^{-3}$ %). За ними располагается большая группа населенных пунктов со средним содержанием висмута в почвах $0{,}1 \cdot 10^{-3}$ %.

Город Темрюк является портом с терминалом по перевалке сжиженного газа и с развитием пищевой промышленности. В городах Туапсе (город-порт) и Кропоткин развиты химическая промышленность, производство стройматериалов, а в Туапсе, кроме того, переработка нефти.

Приведенные данные позволяют говорить о значительной роли техногенеза в накоплении висмута в почвах городов с населением менее 100 тыс. жителей.

Рассмотренные особенности позволяют отметить следующее.

- В группе населенных пунктов с числом жителей менее 100 тыс. для подавляющего числа элементов, находящихся в повышенных средних содержаниях, процесс накопления, вероятнее всего, связан с антропогенной деятельностью.
- Средние содержания в почвах городов с населением менее 100 тыс. жителей таких редких элементов, как Nb, Sc, Y, хотя почти и не превышают кларк земной коры, но находятся в наибольших (по сравнению с другими группами населенных пунктов) концентрациях (табл. 4.1, 5.1, 5.6).
- Повышенными содержаниями редких элементов (Ge, Tl, Yb, Zr) (по сравнению с кларком земной коры и с почвами других групп населенных пунктов) отличаются почвы городов с населением менее 100 тыс. жителей.

5.5.4. Сравнение с кларками почв населенных пунктов

В почвах рассматриваемой группы городов нет химических элементов со средними содержаниями, превышающими кларк почв населенных пунктов более чем в 1,4 раза; исключение составляют B (9,7), Tl (1,9) и Cd (1,6) (в скобках приводятся кларки концентрации; табл. 5.6).

Такие элементы, как Mn, Ni, Zn, Be находятся в почвах рассматриваемой группы городов в концентрациях в 1,7 раза меньших соответствующих кларков почв населенных пунктов.

Гораздо больше геохимических отличий выявляется у почв городов с населением менее 100 тыс. жителей, по сравнению с почвами других групп населенных пунктов (табл. 5.1). Пониженным средним содержанием отличаются 10 химических

элементов, а повышенным – 7, относящихся к редкоиспользуемым: Ge, Nb, Sc, Ti, Y, Yb, Zr.

5.5.5. Общие закономерности

Анализ геохимических особенностей почв городов с населением менее 100 тыс. жителей позволяет сделать следующие выводы.

1. В почвах рассматриваемой группы населенных пунктов существенно (более чем в 2 раза) повышены, по сравнению с кларком почв Земли, средние содержания As, B, Ba, Ca, Cd, Pb. А по сравнению с кларком земной коры – Ag, As, B, Bi, Ca, Cd, Mo, Pb, S, Sn, Tl, W, Yb. Анализ общей ситуации показывает, что отмечаемое повышение средних содержаний указанных элементов связано (в подавляющем большинстве случаев) с антропогенной деятельностью происходящей в городах группы.

2. Среди населенных пунктов с повышенным средним содержанием в почвах перечисленных выше элементов выделяются, как и в других группах, отдельные города, в почвах которых существенно повышены средние содержания сразу нескольких элементов. Примером может служить г. Текели, где значительно повышены содержания Ag, As, Pb. Обычно источником повышенных содержаний элементов в таких случаях является одно предприятие.

3. Ассоциация химических элементов, находящихся в повышенных содержаниях в почвах городов с населением менее 100 тыс. жителей и образующих своеобразную техногенную аномалию, не имеет природных аналогов.

4. По сравнению с почвами других групп населенных пунктов, в почвах городов с населением менее 100 тыс. жителей в повышенных содержаниях находятся редкие элементы – Ge, Nb, Sc, Tl, Y, Yb, Zr, хотя они не всегда превышают кларковые содержания в почвах Земли и земной коры.

5. Перечисленные особенности распространенности химических элементов в почвах рассматриваемой группы населенных пунктов в целом подтверждают не только с административной, но и с геохимической точки зрения правильность разделения городов в зависимости от числа жителей.

5.6. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВ НЕБОЛЬШИХ ПОСЕЛКОВ, СТАНИЦ, ДЕРЕВЕНЬ, ХУТОРОВ

5.6.1. Общие сведения

Выделяемая группа селитебных ландшафтов среди всех групп населенных пунктов занимает наименьшую площадь. Эти ландшафты, в большинстве случаев, представляют собой как бы переход от сельскохозяйственных, степных и лесных ландшафтов к городским ландшафтам населенных пунктов. В них происходит более интенсивный биологический круговорот химических элементов. Ландшафты небольших поселков, станиц, хуторов по развитию техногенеза немного похожи на населенные пункты, относимые к небольшим курортам. Однако от последних их отличает малое число жителей (обычно до 5–6, редко – до 10 тыс.); меньшая роль транспорта в техногенном привносе химических элементов (их соединений); своеобразный биологический круговорот элементов, приближающийся к их круговороту в сельскохозяйственных ландшафтах; а также отрицательный баланс привноса-выноса элементов с сельскохозяйственной продукцией. Почвы рассматриваемой группы населенных пунктов (их геохимические особенности) должны в большей мере соответствовать почвам региона, в котором находятся небольшие поселки, станицы, хутора.

Для изучения распространенности химических элементов в почвах населенных пунктов выделенной группы нами были опробованы почвы хуторов и поселков Краснодарского края, Ростовской области, Иордании и Финляндии. В литературе, рассматривающей содержания элементов в почвах хуторов, малых деревень и поселков, основные сведения приводятся по малым деревням Томской области, Украины и Белоруссии. Эти сведения также были использованы нами.

5.6.2. Сравнение с кларковыми содержаниями почв земли

Данные, приведенные в табл. 5.7, показывают, что в почвах рассматриваемой группы населенных пунктов только 1 химический элемент (Pb) находится в концентрации, превышающей

более чем в 2 раза кларк почв Земли. Это содержание, скорее всего, обусловлено антропогенным загрязнением, вызываемым автотранспортом. Предположение подтверждается тем, что наибольшие концентрации металла приурочены к почвам небольших станиц Краснодарского края, вытянутых вдоль оживленных автотрасс. Установленное среднее содержание для рассматриваемой группы населенных пунктов ($2{,}27 \cdot 10^{-3}$ %) не только не является высоким, но даже в 2,4 раза меньше кларка Pb для почв населенных пунктов.

Примерно такая же картина характерна для содержаний в почвах Zn и Cu. Их средние содержания в почвах небольших поселков, станиц и хуторов больше кларка почв Земли в 1,7–1,9 раза, но меньше кларка почв населенных пунктов. Вероятнее всего, несколько повышенные средние содержания этих элементов связаны с использованием в сельском хозяйстве специальных ядохимикатов и удобрений. Отметим, что, например, в почвах сельскохозяйственных ландшафтов юга европейской части России средние содержания Zn и Cu превышают средние содержания этих же металлов в почвах станиц и хуторов в 1,5–4 раза (Алексеенко, 2006).

Содержание Mo в почвах небольших станиц хотя и превышает кларковые содержания почв Земли и почв населенных пунктов (табл. 5.7), но в 1,3 меньше среднего содержания металла в почвах пастбищ, рисовых чеков и орошаемых пашен Краснодарского края и равно среднему содержанию молибдена в богарных пашнях (Алексеенко, 2006).

Таким образом, средние содержания химических элементов, находящихся в почвах небольших станиц и хуторов (табл. 5.7) в содержаниях, превышающих кларк почв Земли, не превышают средних содержаний этих же элементов в почвах сельскохозяйственных ландшафтов, окружающих рассматриваемые населенные пункты.

Средние содержания химических элементов в почвах рассматриваемой группы населенных пунктов меньшие кларка почв Земли (Ge, Y, Zr, Cr), также примерно соответствуют их средним содержаниям в почвах из окружающих ландшафтов.

Таблица 5.7

Распространённость химических элементов в почвах хуторов, малых посёлков, станиц в сравнении с земной корой, кларком почв Земли и кларком почв населённых пунктов (содержание всех элементов в $n \cdot 10^{-3}$ % массы)

Table 5.7

The concentrations of chemical elements in the soils of small towns, villages and hamlets comparing with the Earth's crust, the Earth's soil cover and urban soils (concentrations of all elements in $n \cdot 10^{-3}$ %)

Элемент	Номер элемента	Среднее содержание в почвах хуторов, малых посёлков, станиц	Кларк земной коры (по А. П. Виноградову)	Кларк концентрации по отношению к земной коре	Кларк почв Земли (по А. П. Виноградову)	Кларк концентрации по отношению к почвам Земли	Кларк почв населённых пунктов	Кларк концентрации по отношению к почвам населённых пунктов
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ag	47	0,025	0,007	3,5	0,050	0,5	0,037	0,7
Al	13	–	8050,000	–	7130,000	–	3820,000	–
As	33	0,519	0,170	3,1	0,500	1,0	1,592	0,3
B	5	–	1,200	–	1,000	–	4,500	–
Ba	56	53,692	65,000	0,8	50,000	1,1	85,312	0,6
Be	4	0,836	0,380	2,2	0,600	1,4	0,326	2,6
Bi	83	0,100	0,001	110,7	–	–	0,112	0,9
Ca	20	–	2960,000	–	1370,000	–	5380,000	–
Cd	48	0,018	0,013	1,4	0,050	0,4	0,090	0,2
Cl	17	–	17,000	–	10,000	–	28,500	–
Co	27	1,069	1,800	0,6	0,800	1,3	1,409	0,8
Cr	24	5,283	8,300	0,6	20,000	0,3	8,000	0,7
Cs	55	–	0,370	–	0,500	–	n·1,0	–
Cu	29	3,470	4,700	0,7	2,000	1,7	3,897	0,9
Fe	26	–	4650,000	–	3800,000	–	2190,000	–

Продолжение табл. 5.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ga	31	1,795	1,900	0,9	3,000	0,6	1,619	1,1
Ge	32	0,159	0,140	1,1	0,500	0,3	0,181	0,9
Hg	80	–	0,008	–	0,001	–	0,088	–
K	19	–	2500,000	–	1360,000	–	1340,000	–
La	57	–	2,900	–	4,000	–	3,400	–
Li	3	5,041	3,200	1,6	3,000	1,7	4,945	1,0
Mg	12	–	1870,000	–	630,000	–	790,000	–
Mn	25	67,492	100,000	0,7	85,000	0,8	72,870	0,9
Mo	42	0,367	0,110	3,3	0,200	1,8	0,244	1,5
Na	11	–	2500,000	–	630,000	–	580,000	–
Nb	41	1,500	2,000	0,8	–	–	1,570	1,0
Ni	28	2,835	5,800	0,5	4,000	0,7	3,299	0,9
P	15	131,945	93,000	1,4	80,000	1,6	120,047	1,1
Pb	82	2,274	1,600	1,4	1,000	2,3	5,449	0,4
Rb	37	–	15,000	–	10,000	–	5,800	–
S	16	–	47,000	–	85,000	–	120,000	–
Sb	51	–	0,050	–	–	–	0,100	–
Sc	21	0,600	1,000	0,6	0,700	0,9	0,942	0,6
Si	14	–	29 500,000	–	33 000,000	–	28 900,000	–
Sn	50	0,619	0,250	2,5	1,000	0,6	0,677	0,9
Sr	38	23,155	34,000	0,7	30,000	0,8	45,783	0,5
Ta	73	0,100	0,250	–	–	–	0,150	0,7
Ti	22	558,318	450,000	1,2	460,000	1,2	475,792	1,2
Tl	81	0,100	0,100	1,0	–	–	0,114	0,9
V	23	6,447	9,000	0,7	10,000	0,6	10,486	0,6
W	74	0,274	0,130	2,1	–	–	0,288	1,0
Y	39	1,750	2,000	0,9	5,000	0,4	2,335	0,7
Yb	70	0,265	0,033	8,0	–	–	0,243	1,1

5.6.3. Сравнение с кларковыми содержаниями земной коры

В почвах рассматриваемой группы населенных пунктов средние содержания восьми элементов (Ag, As, Be, Bi, Mo, Sn, W и Yb) более чем в 2 раза превосходят соответствующие кларки земной коры. Однако отметим, что почти у всех перечисленных элементов кларковое содержание в почвах Земли превышает их же кларковые содержания в земной коре (исключение составляют Bi, Wи Yb, содержания которых не были определены А. П. Виноградовым). Это свидетельствует о том, что повышение содержаний у пяти (из 8 элементов со сравнительно высокими средними содержаниями в почвах рассматриваемой группы) в определенной мере было связано с общими процессами почвообразования. Для Be и Mo, содержания которых в почвах станиц и хуторов больше кларка почв Земли, можно предполагать определенную роль техногенеза в повышении концентраций в почвах рассматриваемой группы населенных пунктов.

Для большинства элементов с незначительно повышенными и пониженными кларками концентрации по отношению к земной коре (табл. 5.7) средние содержания химических элементов в почвах хуторов и деревень, вероятнее всего, отвечают геологической обстановке и, в определенной мере, процессам техногенеза в окружающих их ландшафтах.

Таким образом, проведенное сравнение позволяет считать, что содержания химических элементов в почвах небольших станиц, деревень, поселков и хуторов зависят от конкретной геологической ситуации и техногенных процессов, происходящих в ландшафтах, окружающих эти населенные пункты. В большинстве случаев такими ландшафтами являются различные сельскохозяйственные угодья.

5.6.4. Сравнение с кларками почв населенных пунктов

Как видно из табл. 5.1 и 5.7, среднее содержание только Be в почвах рассматриваемой группы превышает кларк почв населенных пунктов более чем в 2 раза. Содержание этого элемента так же выше кларка земной коры (в 2,2 раза) и почв Земли (в 1,4 раза). Анализ распределения средних содержаний в отде-

льных населенных пунктах группы показал, что повышенные содержания Be в почвах имеют явную приуроченность к определенному региону – к Томской области – и, возможно, связаны со спецификой развития в нем техногенеза.

Средние содержания в почвах небольших поселков, деревень, хуторов подавляющего большинства элементов ниже кларка почв населенных пунктов, а особенно для Cd (в 5 раз), для As (в 3 раза), а для Ba и Zn (почти в 2 раза) (табл. 5.7). Это объясняется наименьшей, среди населенных пунктов, техногенной нагрузкой на почвы в рассматриваемой группе. Отмечаемое относительное обогащение почв Ba, Ga и Mo (табл. 5.1), вероятнее всего, объясняется в одних случаях (как в Томской области) специфической техногенной нагрузкой, в других – (как в Финляндии) особенностями, связанными с геологической ситуацией.

5.6.5. Общие закономерности

Рассмотрение геохимических особенностей почв небольших поселков, станиц, деревень, хуторов выявило следующие закономерности.

1. Почвы изученной группы населенных пунктов отличаются, по сравнению с почвами других населенных пунктов, наибольшим числом химических элементов, находящихся в пониженных концентрациях. Это может объясниться наименьшей техногенной нагрузкой, характеризующей рассматриваемую группу населенных пунктов.

2. Распространенность элементов в почвах небольших поселков, деревень, хуторов во многом определяется геохимическими особенностями почв ландшафтов окружающих эти населенные пункты. Такими ландшафтами являются в большинстве случаев – сельскохозяйственные. Иногда распространенность ряда элементов в почвах может быть связана с конкретной геологической ситуацией. В почвах ранее рассмотренных городов из других групп такая связь не выявлялась, что может объясняться большим техногенным поступлением химических элементов в почвы городов.

5.7. ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОЧВ ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННЫХ ЗОН

5.7.1. Общие сведения

Как уже указывалось, в данной работе крупная геохимическая система (почвы населенных пунктов) была разделена на составляющие ее части в зависимости от числа жителей в населенных пунктах, т. е. от их размеров. От размеров населенных пунктов во многом зависит развитие в них промышленности, транспорта, разнообразных строительных работ, утилизации отходов и т. д. Размерами населенных пунктов обычно определяется и их геохимическое влияние на рядом расположенные природные и техногенные ландшафты.

В рассматриваемой нами схеме разделения населенных пунктов совершенно обособленно выделяются селитебные ландшафты туристско-рекреационных зон, хотя по числу жителей они вполне могли бы войти в группы населенных пунктов с числом жителей до 100 тыс. или в небольшие поселки. Однако выделение туристско-рекреационных зон проведено не случайно, а обусловлено спецификой происходящего в них техногенеза, оказывающего влияние на поступление в почвы, а также на вынос из них повышенных содержаний определенных химических элементов.

В почвы рассматриваемых населенных пунктов химические элементы попадают в виде мусора и обычных продуктов жизнедеятельности. Количество этих загрязняющих веществ определяется числом жителей. Число постоянно проживающих обычно равно или даже меньше числа приезжих туристов и отдыхающих. Во многих туристско-рекреационных зонах число приезжающих зависит от сезона. (Отметим, что опробование почв нами проводилось в периоды наибольшего количества отдыхающих.)

От числа отдыхающих во многом зависят техногенные процессы, связанные с морским, автомобильным и железнодорожным транспортом. Они обусловливаются перевозкой пассажиров, продуктов питания и грузов, необходимых для отдыха. Таким образом, происходит загрязнение региона, обычно относимое к транспортному загрязнению.

Отдыхающие должны обеспечиваться продуктами и, в первую очередь, сельскохозяйственными, такими как фрукты и овощи. Следовательно, это приводит к увеличению в районе площадей, занимаемых садами и виноградниками. Иногда (например, на Черноморском побережье России) они создаются на месте лесов. При этом меняется геохимический облик почв целых районов. (Алексеенко, Суворинов, Власова, 2008).

На расширяющихся туристско-рекреационных зонах (а к ним, в первую очередь, относятся районы Черноморского побережья России и приморские районы Северной Африки) постоянно происходит увеличение размеров населенных пунктов, их этажности, а также ведется создание новых пансионатов, санаториев, баз отдыха. В пределах рассматриваемых зон происходит увеличение количества самых разнообразных отходов, часть которых попадает в почвы.

Сами селитебные ландшафты туристско-рекреационных зон (и как их составная часть – почвы) отличаются друг от друга не только по особенностям техногенеза, но и по природным ландшафтно-геохимическим особенностям. К их числу в первую очередь следует отнести общие климатические особенности, влияние близости морей и конкретной геологической ситуации; геоморфологические особенности; гидрохимические и гидрогеохимические особенности.

Природные условия оказывают несомненное влияние на содержание химических элементов в почвах всех населенных пунктов, но оно мало для городов, по сравнению с техногенным воздействием. Как было показано в других разделах пятой главы, только в группе населенных пунктов, представленных небольшими поселками, станицами и хуторами, роль природных факторов становится значительной. В туристско-рекреационных зонах также возрастает влияние природных факторов на распространенность химических элементов в почвах.

5.7.2. Сравнение с кларковыми содержаниями почв земли

Средние содержания в почвах рекреационно-туристических центров 19 элементов превышают их кларковые значения в почвах Земли (As, Ba, Cd, Cl, Co, Cu, Li, Mg, Mn, Na, P, Pb, S, Sc,

Sr, Ti, V, Zn). Часть из них превосходит кларк почв Земли всего в 1,1–1,8 раза (Li, Mg, Mn, Na, P, S, Sc, Sr, Ti, V), т. е. с вероятностью 95 % средние содержания многих элементов в почвах туристско-рекреационных центров близки к кларкам (табл. 5.8). Другие же элементы превосходят кларк более чем в 4 раза. Это As (4,3), Ca (5,2), Cd (5,3), Pb (5,5), Zn (4,0) (в скобках приведены величины кларка концентрации по отношению к кларку почв Земли). Рассмотрим распространенность этих 5 элементов в почвах отдельных населенных пунктов группы.

Среднее содержание мышьяка (As) в почвах населенных пунктов туристско-рекреационных зон равно $2{,}2 \cdot 10^{-3}$ %. Его значительно повышенные средние содержания установлены для ряда курортов Черноморского побережья России (Южный, Адлер, Дивноморск), а также г. Торки (Великобритания). Существенно понижены средние содержания As в почвах Черноморских курортов Пшада (1) и Голубая бухта (1,5), а также на побережье о. Сайпан (1,5) из группы Марианских островов (в скобках содержания в $n \cdot 10^{-3}$ %).

Город Адлер относится к крайнему на западе району Б. Сочи. В городе расположен крупнейший на юге европейской части России аэропорт. Среднее содержание в почвах мышьяка равно $4 \cdot 10^{-3}$ %.

Среднее содержание As в почвах курортных поселков Южный и Дивноморск соответственно равно 4 и $3{,}4 \cdot 10^{-3}$ %. Через поселки проходит основная в регионе автомагистраль, правда поселок Дивноморск находится на небольшом удалении от нее. Источников минеральных вод на перечисленных курортах Черноморского побережья неизвестно.

В почвах г. Торки среднее содержание As равно $2{,}8 \cdot 10^{-3}$ %.

Если не считать максимально высокие и низкие средние содержания мышьяка в почвах отдельных курортов, то разброс средних содержаний элемента довольно мал: от 1,6 до $2{,}5 \cdot 10^{-3}$ %.

Среднее содержание кальция (Ca) в почвах населенных пунктов туристско-рекреационных центров (7,1 %) определялось на основании анализов, проводимых классическими химическими методами и рентгенофлуоресцентных анализов в сборных пробах, характеризующих средний состав почв отдельного на-

Таблица 5.8

Распространённость химических элементов в почвах рекреационно-туристических центров в сравнении с земной корой, кларком почв Земли и кларком почв населённых пунктов (содержание всех элементов в $n \cdot 10^{-3}$ % массы)

Table 5.8

The concentrations of chemical elements in the soils of tourist and recreational areas comparing with the Earth's crust, the Earth's soil cover and urban soils (concentrations of all elements in $n \cdot 10^{-3}$ %)

Элемент	Номер элемента	Среднее содержание в почвах рекреационно-туристических центров	Кларк земной коры (по А. П. Виноградову)	Кларк концентрации по отношению к земной коре	Кларк почв Земли (по А. П. Виноградову)	Кларк концентрации по отношению к почвам Земли	Кларк почв населённых пунктов	Кларк концентрации по отношению к почвам населённых пунктов
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ag	47	0,041	0,007	5,8	0,050	0,8	0,037	1,1
Al	13	4226,233	8050,000	0,5	7130,000	0,6	3820,000	1,1
As	33	2,145	0,170	12,6	0,500	4,3	1,592	1,3
B	5	–	1,200	–	1,000	–	4,500	–
Ba	56	98,394	65,000	1,5	50,000	2,0	85,312	1,2
Be	4	0,240	0,380	0,6	0,600	0,4	0,326	0,7
Bi	83	0,112	0,001	123,9	–	–	0,112	1,0
Ca	20	7118,008	2960,000	2,4	1370,000	5,2	5380,000	1,3
Cd	48	0,267	0,013	–	0,050	–	0,090	–
Cl	17	27,400	17,000	1,6	10,000	2,7	28,500	1,0
Co	27	1,814	1,800	1,0	0,800	2,3	1,409	1,3
Cr	24	8,806	8,300	1,1	20,000	0,4	8,000	1,1
Cs	55	–	0,370	–	0,500	–	n·1,0	–
Cu	29	5,689	4,700	1,2	2,000	2,8	3,897	1,5
Fe	26	2489,549	4650,000	0,5	3800,000	0,7	2190,000	1,1
Ga	31	1,617	1,900	0,9	3,000	0,5	1,619	1,0

Окончание табл. 5.8

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Ge	32	0,188	0,140	1,3	0,500	0,4	0,181	1,0
Hg	80	–	0,008	–	0,001	–	0,088	–
K	19	1277,193	2500,000	0,5	1360,000	0,9	1340,000	1,0
La	57	–	2,900	–	4,000	–	3,400	–
Li	3	5,119	3,200	1,6	3,000	1,7	4,945	1,0
Mg	12	1005,622	1870,000	0,5	630,000	1,6	790,000	1,3
Mn	25	112,463	100,000	1,1	85,000	1,3	72,870	1,5
Mo	42	0,197	0,110	1,8	0,200	1,0	0,244	0,8
Na	11	645,484	2500,000	0,3	630,000	1,0	580,000	1,1
Nb	41	1,644	2,000	0,8	–	–	1,570	1,0
Ni	28	3,985	5,800	0,7	4,000	1,0	3,299	1,2
P	15	119,772	93,000	1,3	80,000	1,5	120,047	1,0
Pb	82	5,524	1,600	3,5	1,000	5,5	5,449	1,0
Rb	37	6,300	15,000	0,4	10,000	0,6	5,800	1,1
S	16	102,000	47,000	2,2	85,000	1,2	120,000	0,9
Sb	51	1,250	0,050	25,0	–	–	0,100	12,5
Sc	21	1,184	1,000	1,2	0,700	1,7	0,942	1,3
Si	14	26700,912	29500,000	0,9	33000,000	0,8	28900,000	0,9
Sn	50	0,654	0,250	2,6	1,000	0,7	0,677	1,0
Sr	38	55,074	34,000	1,6	30,000	1,8	45,783	1,2
Ta	73	–	0,250	–	–	–	0,150	–
Ti	22	479,440	450,000	1,1	460,000	1,0	475,792	1,0
Tl	81	0,109	0,100	1,1	–	–	0,114	1,0
V	23	11,544	9,000	1,3	10,000	1,2	10,486	1,1
W	74	0,243	0,130	1,9	–	–	0,288	0,8
Y	39	1,874	2,000	0,9	5,000	0,4	2,335	0,8
Yb	70	0,247	0,033	7,5	–	–	0,243	1,0
Zn	30	19,993	8,300	2,4	5,000	4,0	15,800	1,3
Zr	40	18,768	17,000	1,1	30,000	0,6	25,559	0,7

селенного пункта. Числа таких проб было достаточно для первой оценки среднего содержания Ca в почвах населенных пунктов туристско-рекреационных зон, но мало для проведения детального сравнения курортов, расположенных в различном удалении от морей, в различных геоморфологических условиях и т. п.

Наибольшее среднее содержание кальция в почвах изучаемых городов установлено в г. Геленджике ($16\,000 \cdot 10^{-3}$ %). Однако связывать такое содержание с положением курорта у моря нельзя, так как в г. Анапа (также приморском курорте) среднее содержание металла в почве почти в 2 раза меньше ($8300 \cdot 10^{-3}$ %). Вероятнее всего, содержание Ca в рассматриваемой группе городов во многом определяется составом почвообразующих (почвоподстилающих) пород: в Геленджике это карбонатно-терригенные образования, а в Анапе – глинистые.

Минимальное среднее содержание кальция в почвах изученных курортных центров установлено для Светлогорска ($617 \cdot 10^{-3}$ %). Пониженное – и для курорта Горячий Ключ. В составе почвоподстилающих пород в обоих центрах практически отсутствуют карбонаты.

Среднее содержание кадмия (Cd) в почвах рекреационно-туристических центров равно $0{,}27 \cdot 10^{-3}$ % (табл. 5.8). Оно в 5,3 раза выше кларка почв Земли и относится к числу наибольших в рассматриваемых группах населенных пунктов (табл. 4.1). Среди изученных курортов Наибольшее среднее содержание элемента было установлено в Хосте ($0{,}3 \cdot 10^{-3}$ %), относящейся к району Б. Сочи.

Среднее содержание свинца (Pb) в почвах курортно-рекреационных зон равно $5{,}5 \cdot 10^{-3}$ %. Оно в 5,5 раза выше кларка для почв Земли. Наибольшие («ураганные») средние содержания были установлены на Черноморских курортах Украины (в Алупке) и в России (в Туапсе), а также в морском курортном центре Великобритании (в Лу) и в туристическом центре Австрии (в Зальцбурге). Они равняются (в соответствующем порядке) 30; 12,5; 17,6; $17{,}5 \cdot 10^{-3}$ %.

Из перечисленных курортов только Туапсе является промышленно-курортным городом с крупным нефтеперерабатывающим предприятием и довольно большим транспортным узлом,

которые могут быть определенными источниками свинца, попадающего в почвы. В остальных городах-курортах и туристических центрах промышленность (за исключением пищевой в Зальцбурге) практически отсутствует.

Почвы с небольшими содержаниями свинца установлены в туристическом центре Иордании в г. Петра ($2 \cdot 10^{-3}$ %), на острове Сайпан, в удалении от берега – $1{,}99 \cdot 10^{-3}$ % и в прибрежной части – 0,65, на о. Куба ($0{,}6 \cdot 10^{-3}$ %).

Среднее содержание цинка (Zn) в почвах населенных пунктов, относящихся к рекреационно-туристическим ($20 \cdot 10^{-3}$ %), в 4 раза больше величины кларка почв Земли ($5 \cdot 10^{-3}$ %). Наибольшие средние содержания установлены в Черноморских курортах: пос. Агой (50), г. Сочи (47), пос. Лазаревский (43), пос. Головинка (33) (в скобках приведены содержания в $n \cdot 10^{-3}$ %).

Пониженные средние содержания цинка в почвах характерны для побережья о. Сайпан (0,5); австрийского туристического центра Хинтербрюль (5); украинских Черноморских курортов: Алупка (5), Инкерман (8), Ливадия (8).

Рассмотрение средних содержаний в почвах элементов с наибольшими кларками концентрации по отношению к почвам Земли позволяет считать:

- Несмотря на отсутствие промышленных предприятий в почвах ряда туристско-рекреационных центров, значительно повышены средние содержания As, Ca, Cd, Pb, Zv.
- По имеющимся данным (а в группе изучено более 60 населенных пунктов) установить одну основную причину концентрации элементов не удается, хотя к числу важнейших антропогенных факторов можно отнести влияние транспорта.

5.7.3. Сравнение с кларковыми содержаниями земной коры

В почвах населенных пунктов, имеющих туристско-рекреационное значение, повышены более чем в 1,5 раза, по сравнению с кларками земной коры, содержания более 1/3 рассматриваемых элементов. Из них более, чем в 2 раза повышены содержания 11 элементов, а более, чем в 5 раз – 6 химических элементов. К числу последних (табл. 5.8) относятся Ag (5,8),

Yb (7,5), As (12,6), Cd (20,5), Sb (25), Bi (123) (в скобках приведены кларки концентрации).

Курорты и туристические центры с высокими средними содержаниями Asи Cd приведены в предыдущем разделе (5.7.2), а поэтому ниже рассмотрим распределение в городах группы остальных четырех химических элементов.

Среднее содержание серебра (Ag) в почвах населенных пунктов группы ($0{,}041 \cdot 10^{-3}$ %) почти в 6 раз превосходит кларк земной коры (табл. 5.8). Наибольшие средние содержания металла установлены в почвах следующих туристических центров и курортов: в Австрии – Баден (0,2); на Черноморском побережье России – Джубга (0,15) и Геленджик (0,11); на Черноморском побережье Украины – промышленно-курортный центр – Севастополь, Инкерман, Алупка (во всех – 0,1); во Франции – Версаль (0,1) (в скобках указаны содержания в $n \cdot 10^{-3}$ %). Эти города не объединяют географическое положение и, в частности, близость морей, геоморфологические особенности, геологическое строение; отсутствуют общие для перечисленных курортов минеральные источники. По нашему мнению, их объединяет только туристско-рекреационная деятельность и связанный с ней комплекс элементов, поступающих в почвы.

Среднее содержание иттербия (Yb) в почвах туристско-рекреационных центров ($0{,}247 \cdot 10^{-3}$ %) превышает кларк земной коры в 7,5 раза. Наиболее высокими средними содержаниями отличаются австрийские населенные пункты – Кремс (0,5), Хайлигенкройц (0,3), Хинтербрюль (0,3), Баден и Зальцбург (по 0,25); Черноморские курорты в России – пос. Лазаревский (0,3) и Пшада (0,25); курорт о. Сайпан (0,27), из группы Марианских островов (в скобках содержания в $n \cdot 10^{-3}$ %).

Так же, как и в случае с серебром, населенные пункты с повышенным средним содержанием в почвах Yb объединяет специфическая антропогенная деятельность. При этом повышенные содержания элемента в почвах первых австрийских населенных пунктов могли быть связаны с специфическим развитием (а соответственно, и с транспортировкой материалов) промышленности в годы Второй мировой войны.

Среднее содержание сурьмы (Sb) в почвах населенных пунктов рассматриваемой группы ($1{,}25 \cdot 10^{-3}$ %) в 25 раз больше кларка земной коры. Содержание Sb определялось не во всех (почти 70) городах группы. Этого хватило для достоверного установления среднего содержания, но сравнения по этому показателю одних курортов с другими мы не приводим.

Среднее содержание висмута (Bi) в почвах туристско-рекреационных центров ($0{,}11 \cdot 10^{-3}$ %) более чем в 120 раз превышает кларк земной коры, что никак не может объясняться только природными факторами почвообразования, к тому же протекающего в самых различных частях земного шара. Максимальные средние содержания Bi в почвах отдельных населенных пунктов превышают среднее содержание менее, чем в 3 раза. Наибольшие средние содержания установлены в почвах курортов Черноморского побережья России. К ним относятся пос. Лазаревский (0,34), Головинка (0,25), Широкая Балка и Южный (0,2) (в скобках содержания в $n \cdot 10^{-3}$ %).

Сравнение средних содержаний химических элементов в почвах туристско-рекреационных центров с кларковыми содержаниями элементов в земной коре позволяют отметить следующее.

- Средние содержания большой группы химических элементов в почвах курортов превышают кларковые содержания этих элементов в земной коре. Для таких элементов, как Ag, Yb, As, Cd, Sb и Bi, кларки концентрации равны 5,8–12,3. Это косвенно может свидетельствовать о том, что в процессах накопления элементов в почвах населенных пунктов рассматриваемой группы влияние коренных горных пород не являлось основным и, вероятно, большая роль принадлежала антропогенной деятельности.
- Средние содержания таких редкоиспользуемых в настоящее время элементов, как Rb, Nb, Y, Ga, Be, в почвах курортов меньше, чем в земной коре, хотя содержания в почвах других редких элементов (Zr, Yb, Sc, Li, Sr, Tl) превышают кларки земной коры.

5.7.4. Сравнение с кларками почв населенных пунктов

Приведенное сравнение показало, что в почвах рекреационно-туристических центров среднее содержание большинства химических элементов или равно кларку почв населенных пунктов,

или незначительно превышает его. Превышение более, чем в полтора раза установлено лишь для кадмия и сурьмы. Города с повышенным содержанием в почвах Cd и Sb уже рассматривались.

Отметим, что, по сравнению с почвами других групп населенных пунктов, почвы туристско-рекреационных центров отличаются довольно большим числом (16) элементов, находящихся, хотя и незначительно, но в повышенных содержаниях (табл. 5.1). По этому показателю почвы рассматриваемой группы располагаются на втором месте, после городов-миллионеров; на втором месте (и опять после городов-миллионеров) они находятся и по числу химических элементов с пониженным средним содержанием в почвах (табл. 5.1).

Еще одной особенностью почв населенных пунктов является то, что в числе элементов с повышенным средним содержанием находится 5 редких элементов (Ge, Li, Sc, Sr, Tl). Большее число редких элементов, образующих повышенные средние содержания в почвах отдельных групп населенных пунктов, установлено к настоящему времени только в почвах городов с населением менее 100 тысяч жителей (табл. 5.1).

5.7.5. Общие закономерности

Как уже указывалось, группа населенных пунктов, относящихся к туристско-рекреационным центрам, весьма своеобразна и отличается по особенностям антропогенной деятельности от всех ранее рассмотренных групп. Это отличие сказалось на геохимическом облике почв. Он, вероятно, будет изучаться еще продолжительное время с привлечением все большего внимания со стороны экологической геохимии и медико-геохимических исследований. К настоящему времени можно, с учетом имеющейся информации, сделать следующие выводы.

1. Большее число из изученных химических элементов содержится в почвах туристско-рекреационных зон в средних содержаниях, превышающих кларки почв Земли и земной коры, несмотря на практическое отсутствие в этих зонах промышленных предприятий.

2. Судя по соотношениям средних содержаний в почвах туристско-рекреационных зон, кларков земной коры и кларков

почв Земли, элементы, находящиеся в повышенных средних содержаниях в почвах населенных пунктов, можно несколько условно разделить на три основные группы (см. раздел 5.4.5):

а) Элементы, концентрации которых способствовали общие процессы почвообразования, но кроме которых важную роль играли и другие, в том числе антропогенные. К ним относятся As, Cd, S.

б) Элементы, повышенная концентрация которых, в основном, может быть связана с антропогенной деятельностью – Ba, Ca, Cl, Co, Cu, Li, P, Pb, Sc, V, Zn.

в) Элементы, в концентрации которых в почвах зон рекреации и туризма роль антропогенных факторов практически не превышала роли общих процессов почвообразования – Ag, Cr, Ge, Sn, Zr.

3. Природные факторы, оказавшие решающее влияние на значительное повышение средних содержаний элементов в почвах курортов, к настоящему времени не выявлено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Одной из важнейших биокосных геохимических систем биосферы являются почвы. Их геохимические особенности во многом связаны с ландшафтно-геохимическими условиями процесса почвообразования и последующего развития в почвах процессов поступления, миграции и концентрации веществ. В природных (биогенных) ландшафтах почвы и даже произрастающие на них растения во многом наследуют геохимические особенности почвообразующих горных пород.

2. В отличие от природных ландшафтов, геохимические особенности почв в техногенных ландшафтах в современный период стали во многом зависеть от антропогенной деятельности, т. е. от техногенных процессов. Особое влияние эти процессы оказали на почвы селитебных ландшафтов.

3. Люди большую часть жизни находятся в пределах населенных пунктов. Являясь депонирующей средой, почвы селитебных ландшафтов отражают эколого-геохимические особенности условий проживания в них населения не только, и даже не

столько на момент изучения, сколько на конкретный временной срез. Это во многом и определило приоритетное изучение геохимических особенностей почв селитебных ландшафтов при многих эколого-геохимических исследованиях. Для их оценки, как и для других геохимических систем, необходимо использование следующих четырех важнейших показателей: 1 – распространенности химических элементов (их соединений); 2 – форм нахождения элементов; 3 – биогеохимических особенностей этих элементов, определяемых их положением в таблице Д. И. Менделеева; 4 – распределения (разброса) химических элементов.

В представленной монографии мы постарались рассмотреть, в основном, распространенность и распределение (разброс) химических элементов в почвах селитебных ландшафтов.

4. Для детального рассмотрения геохимических особенностей селитебных ландшафтов, в значительной мере определяемых антропогенной деятельностью, мы разделили населенные пункты, в основном в зависимости от числа жителей, на шесть групп: 1 – с числом жителей свыше 700 тыс.; 2 – от 300 до 700 тыс.; 3 – от 100 до 300 тыс.; 4 – менее 100 тыс. жителей; а также 5 – хутора, небольшие поселки, станицы, деревни и 6 – рекреационно-туристические центры.

5. В различных геохимических системах распространенность и распределение химических элементов со временем изменяются. Наиболее быстрые революционные изменения происходят в техногенных геохимических системах. Это обусловило необходимость установления их, по возможности наиболее точных, характеристик на определенный временной срез.

6. Для почв селитебных ландшафтов мы посчитали важнейшей задачей впервые установить средние содержания и величины абсолютного разброса элементов на конец XX в. – начало XXI в. При выполнении этой задачи нами, по специально разработанной методике (см. раздел 4.2), были изучены почвы 300 населенных пунктов. Это позволило установить средние содержания 50 химических элементов, в их число вошли такие элементы, как Bi, C, Cs, Nb, O, Sb, Ta, Tl, W, Yb, кларки которых не были установлены для почв Земли А. П. Виноградовым.

7. Распространенность в почвах населенных пунктов химических элементов в значительной мере унаследовала общие за-

кономерности их распространенности в земной коре и в почвах Земли. К ним, в первую очередь, следует отнести крайнюю неравномерность распространенности; связь содержаний элементов с их атомной массой, приведшую к преобладанию легких элементов; а также преобладание в рассматриваемой геохимической системе четноатомных элементов и, особенно, элементов с атомной массой ведущего изотопа, кратной четырем.

8. На распространенность химических элементов в почвах населенных пунктов оказала несомненное влияние антропогенная деятельность. Мы считаем, что в значительной (первостепенной) мере под влиянием процессов техногенеза в почвах населенных пунктов появились в концентрациях, значительно превышающих кларки почв Земли и земной коры, и относимые к «избыточным для данной системы», такие элементы, как B, Ba, Ca, Cl, Hg, Li, P, Pb, Sr и Zn. Отметим, что кларк почв Земли у этих химических элементов меньше кларка земной коры, а это указывает на то, что процессы общего почвообразования вряд ли могли оказать существенное влияние на повышение содержаний указанных элементов в почвах населенных пунктов.

9. У таких элементов с повышенным кларком в почвах населенных пунктов в 2 и более раз, по сравнению с кларком земной коры (табл.4.1), как Ag (5,3), As (9,4), Bi, Mo (2,2), Sn (2,7), W, Yb (в скобках кларк концентрации по отношению к земной коре), содержания в почвах Земли превосходят их содержания в земной коре. Следовательно, накопление этих (и ряда других) химических элементов в почвах населенных пунктов в определенной мере связано и с природными процессами почвообразования, и с интенсивной антропогенной деятельностью.

10. Полученная информация позволяет считать, что в результате совместного воздействия природных и техногенных процессов миграции-концентрации веществ, происходящих в почвах населенных пунктов, средние содержания значительной части химических элементов в почвах селитебных ландшафтов стали значительно отличаться не только от соответствующих кларков земной коры, но и от средних содержаний, установленных для почв Земли. Эти отличия сделали необходимым для решения многих (в первую очередь экологических) проблем выделение такой геохимической системы, как почвы населенных пунктов,

с установлением для этой системы своих кларковых содержаний.

11. Влияние антропогенной деятельности на поступление, вынос и концентрацию определенных элементов в почвах населенных пунктов постоянно изменяется. Изменяется и соотношение процессов общего природного почвообразования и техногенеза. Скорость таких изменений пока установить не удается. В связи с этим необходимо устанавливать кларковые содержания химических элементов в почвах населенных пунктов на определенный временной срез.

12. Рассчитанные нами средние содержания химических элементов в почвах населенных пунктов (табл. 4.1, прил. 1) **можно считать кларками почв населенных пунктов конца XX – начала XXI в.**

13. Анализ распространенности средних содержаний химических элементов в почвах выделенных групп населенных пунктов показал, что, хотя по особенностям концентрации элементов почвы всех групп селитебных ландшафтов имеют много общего, у каждой из них есть свои (часто весьма существенные) отличия. К основным общим геохимическим особенностям почв всех групп населенных пунктов относятся следующие:

А. Средние содержания большинства химических элементов в почвах всех групп населенных пунктов значительно превышают кларки почв Земли, земной коры, а часто – и наиболее распространенных типов горных пород. Это во многом является следствием важнейшей роли процессов техногенеза, протекающих в различных селитебных ландшафтах.

Б. Современная распространенность химических элементов в почвах всех групп селитебных ландшафтов представляет собой итог для изучаемого временного среза, совместного воздействия техногенных и природных процессов, начиная с почвообразования. Соотношение этих процессов, и как его результат – формирование средних содержаний элементов в почвах, имеет свою специфику в каждой из выделяемых групп населенных пунктов.

14. По результатам сравнения средних содержаний химических элементов в почвах выделенных групп населенных пунктов установлено, что в городах с населением свыше 700 тысяч

жителей находится наибольшее число элементов, образующих повышенные средние концентрации. К ним относятся такие наиболее часто используемые при современном уровне развития науки и техники, как Pb, Zn, Ag, As, Cu, Mn, Co, Ni, Ti, Sn и др. В почвах этой же группы населенных пунктов находится наименьшее (по сравнению с почвами других групп) число элементов с пониженными средними содержаниями.

Наименьшее число химических элементов с повышенными (по сравнению с другими группами) средними содержаниями в почвах характерно для небольших поселков, деревень, станиц, хуторов (Be, Ga, Mo, Ti). Это согласуется с небольшим техногенным воздействием на почвы рассматриваемой группы селитебных ландшафтов.

15. Сравнение средних содержаний химических элементов в почвах выделенных групп населенных пунктов с кларком почв селитебных ландшафтов показало, что по числу элементов с существенно повышенными средними содержаниями, группы распределяются следующим образом (в скобках кларк концентрации):

1) с числом жителей 300–700 тыс. – Sb (15);

2) небольшие поселки, хутора – Be (2,6), Mo (1,5);

3) рекреационно-туристические центры – Cd, Cu (3), Sb (12,5);

4) с числом жителей более 700 тыс. –As, Cu, Sn (1,4–1,5), Cd (3,2);

5) с числом жителей 100–300 тыс. – Nb, Zr, Y (1,5–1,6), Bi (2), Tl (9,3);

6) с числом жителей менее 100 тыс. – Ca, Cd, Ge (1,4–1,6), Tl (1,9), B (9,7), Sb (78).

По числу элементов с существенно пониженными (по сравнению с кларком почв селитебных ландшафтов) средними содержаниями в почвах группы населенных пунктов располагаются следующим образом (в скобках кларк рассеяния):

1) рекреационно-туристические центры – Be, Sr (0,7);

2) с числом жителей 300–700 тыс. – Mg (0,6), Cr, Zn (0,7);

3) с числом жителей более 700 тыс. – Ca (0,3), La (0,4), Cl (0,6), Ta (0,7);

4) с числом жителей 100–300 тыс. – Cr (0,5), Zn (0,6), Ba, Cu, Ni (0,7);

5) с числом жителей менее 100 тыс. – Be, Mn, Ni, Zn (0,6); Cu, Pb, Sr (0,7);

6) небольшие поселки, хутора – Cd (0,2), As (0,3), Pb (0,4), Sr, Zr (0,5), Zn, Ba, V, Sc (0,6), Ag, Cr, Ta, Y (0,7).

Приведенные данные, во-первых, косвенно указывают на роль техногенных процессов в накоплении химических элементов в почвах каждой группы селитебных ландшафтов. Во-вторых, подтверждают положение о том, что эта роль изменяется в зависимости от числа жителей в населенном пункте. В-третьих, эти данные указывают на необходимость учета, при детальных эколого-геохимических исследованиях, числа жителей в населенных пунктах.

16. В отдельных группах населенных пунктов встречаются города, отличающиеся от остальных резко повышенными средними содержаниями в почвах не одного, а сразу нескольких химических элементов. Основной причиной этого явления обычно является особенность развития в городе промышленных предприятий.

17. Повышенные содержания химических элементов в почвах населенных пунктов могут сохраняться десятилетиями, даже после ликвидации основных источников их (элементов) поступления в почвы.

18. Установленные кларки почв населенных пунктов являются их геохимической (эколого-геохимической) характеристикой, отражающей совместное воздействие техногенных и природных процессов, происходящих в определенном временном срезе. С развитием науки и техники значения приводимых кларков могут постепенно изменяться. Скорость таких изменений пока невозможно предсказать, но впервые приводимые в этом исследовании значения кларков могут и, мы надеемся, будут использованы, и как своеобразные реперы.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ ПО ГЛАВАМ

Предисловие

Сравнительно недавно начала оформляться как самостоятельная «ветвь» общей геохимии – *экологическая геохи*мия. (Первый учебник по экологической геохимии вышел в 2000 г.) В этой науке рассматривается, как и в общей геохимии по В. И. Вернадскому, «история атомов химических элементов», но только в преде*лах биосфе*ры, а не всей З*е*мли.

В пределах земной коры за время существования живого вещества, по крайней мере, за время существования человека, в результате процессов миграции-концентрации химических элементов их распространенность (содержание) практически не изменилась, за исключением ряда радиоактивных элементов и продуктов их распада, а также инертных газов. Однако существенно изменилось распределение химических элементов.

По иной схеме развивалось (и продолжает развиваться) история атомов химических элементов в биосфере. В пределах этой геохимической системы изменилось не только распределение элементов, но и их содержание.

Скорость ряда геохимических изменений, происходящих в последние десятилетия в биосфере, стала близка к катастрофически высокой. Часто они связаны с антропогенной деятельностью. Для изучения этих изменений и принятия обоснованных решений по ослаблению их отрицательного воздействия на живые организмы и, в первую очередь на людей, необходимо установление средних содержаний химических элементов в современном «временном срезе», в геохимических системах, подверженных наибольшему антропогенному воздействию и оказывающих значительное влияние на развитие и даже существование организмов. К числу таких систем следует относить почвы селитебных ландшафтов.

Введение

В настоящее время назрела необходимость перехода от качественной характеристики геохимических процессов, происходящих в биосфере, к количественной и к обоснованному (и тоже количественному) прогнозу их последствий.

Для этого появились объективные предпосылки: 1 – изменения эколого-геохимической обстановки стали сказываться на

безопасности жизнедеятельности и, в конечном счете, на устойчивом развитии как отдельных регионов, так и целых стран; 2 – многие проблемы перешли из разряда чисто геохимических в экономические и даже политические; 3 – сделали большой скачок в своем развитии такие составные части геохимии, как экологическая геохимия, биогеохимия, учение о геохимических барьерах.

Эти предпосылки ставят перед исследователями две крупные первоочередные задачи:

a) Определение средних содержаний химических элементов в биосфере в целом и в составляющих ее (сначала крупных, а затем и в небольших) геохимических системах.

b) Установление основных закономерностей и законов развития эколого-геохимических изменений в биосфере и в составляющих ее геохимических системах.

Нам видится, что установление современных средних содержаний элементов для многих геохимических систем (т. е. установление определенных «геохимических реперов») и, в первую очередь, для почв различных групп геохимических ландшафтов необходимо по целому ряду объективных причин.

Глава 1. Понятия о геохимических системах и ландшафтах

В разделе 1.1 приводятся общие сведения о геохимических системах, включающие три основных показателя, необходимые для их характеристики.

*1. Особенности отношений между частями, составляющими сис*тему.

*2. Реакция геохимической системы на изменение внешних услов*ий.

*3. История изменений, происходящих в геохимической сис*теме.

Для геохимической характеристики начального периода перехода биосферы в ноосферу предлагается дополнительно использовать следующие показатели:

- соотношение масс химических элементов, находящихся и мигрирующих в различных формах;
- интенсивность миграции элементов;
- формирование новых геохимических барьеров;

- дальность миграции элементов, находящихся в различных формах;
- распределение и распространенность элементов.

Все рассмотренные показатели необходимы для характеристики и крупных, и небольших геохимических систем биосферы.

В разделе 1.2 рассматриваются общие сведения и классификация геохимических ландшафтов В. А. Алексеенко, основанная на использовании таксономических уровней. Разбираются критерий выделения ландшафта А. И. Перельмана и понятия, относимые к деталям ландшафта.

Приводятся *закон развития изменений во всех частях (ярусах) ландшафта, при изменениях, первоначально происшедших только в одной из н*их, а та*кже закон об изменениях, происходящих в окружающих ландшафтах, при замене одного из них на новый.* Действие законов справедливо для природных и техногенных ландшафтов суши и водных, а также для такого их сочетания, как аквальные – супераквальные.

Раздел 1.3 посвящен поведению химических элементов в биосфере и в составляющих её геохимических системах. Приводятся закон, гласящий, что *геохимическое поведение химических элементов (их соединений) в биосфере (содержание, распределение, а часто и форма нахождения в отдельных частях ландшафта) определяются, в основном, ландшафтно-геохимическими особенностями данного участка биосферы*, а также закон Кларка–Вернадского о том, что *в любой природной геохимической системе есть все химические элементы, известные в земной коре.*

Показано, что крупные литохимические системы устойчивы, если содержания в них химических элементов близки к кларковым содержаниям соответствующих пород. Однако *использовать для характеристики систем кларковые и фоновые содержания следует только, если в масштабе исследований эти системы можно условно рассматривать как относительно однородные.*

Отдельно рассматривается использование при характеристике систем сведений о формах нахождения в них химических элементов и о типоморфных элементах. Приводятся примеры.

Показано, что *для нормального развития организмов распространенность в среде их обитания каждого элемента должна*

соответствовать его положению в таблице Д. И. Менделеева, а следовательно, и строению атома.

Рассматриваются такие показатели распределения химических элементов, как дисперсия, коэффициент вариации, абсолютный (АР) и относительный (ОР) разброс химических элементов.

Глава 2. Некоторые особенности геохимических процессов в селитебных ландшафтах

В разделах 2.1, 2.2 рассматриваются общие сведения и классификация селитебных ландшафтов, базирующаяся на трех основных таксономических уровнях, определяемых числом жителей, профилем преобладающих предприятий и климатическими условиями.

В разделе 2.3 приводится классификация отдельных ландшафтов, составляющих в сумме единый городской ландшафт. Дается описание особенностей ландшафтов на каждом таксономическом уровне.

Раздел 2.4 посвящен особенностям антропогенного загрязнения населенных пунктов, которое представляет собой, в основном, загрязнение атмосферного воздуха, грунтовых и почвенных растворов, растительности и почв. Также происходит своеобразное электромагнитное, тепловое, звуковое (шумовое) и радиоактивное загрязнение. Кроме того, населенные пункты отличаются от окружающих их ландшафтов гидрологическим и световым режимами. Перечисленные особенности селитебных ландшафтов оказывают влияние на процессы миграции-концентрации элементов (их соединений) ина биогеохимические и геоботанические особенности растительности. Суммарные последствия загрязнения развиваются в населенных пунктах, особенно в крупных, мозаично, а основной депонирующей геохимической системой, входящей в селитебный ландшафт, являются почвы.

В разделе 2.5 рассматриваются эколого-геохимические аномалии селитебных ландшафтов. Практически все они по генезису являются полигенными, а по составу – поликомпонентными.

Многолетние исследования техногенных геохимических аномалий позволили сформулировать следующий закон: *ассоциации химических элементов, образующих крупные техногенные геохимические аномалии, определяются, в основном, уровнем*

развития науки и техники в период формирования аномалий. Это означает следующее:

1. Аномалии образуются большим числом элементов, среди которых выделяются приоритетные загрязняющие вещества.

2. Аномалии, образовавшиеся в последние десятилетия, составлены практически одними и теми же элементами; однако их подавляющее большинство находится в минимально-аномальных концентрациях.

3. Уровень развития науки и техники XXI в. предполагает использование элементов, сейчас относимых к редким, но которые начинают входить в рассматриваемые ассоциации, что необходимо учитывать.

При различных исследованиях и для принятия административных решений, направленных на улучшение медико-экологической обстановки в населенных пунктах, не всегда оправдано использование для сравнений кларковых содержаний почв Мира. Это вызвало необходимость установления кларков химических элементов для почв селитебных ландшафтов.

Глава 3. Кларки, местные фоновые содержания и разброс химических элементов в отдельных геохимических системах биосферы

В разделах 3.1–3.2 приводятся общие сведения о кларках земной коры и закономерностях их распространенности и распределения в литосфере, т. е. в абиогенных системах. Дается понятие геохимическим провинциям, местным кларкам, кларкам различных горных пород, кларкам концентрации, местным фоновым содержаниям.

Разбираются восемь важнейших особенностей распространенности элементов в земной коре. Объясняется возможность обоснованного употребления таких терминов, как «породообразующие», «редкие», «избыточные», «недостаточные» и «микроэлементы». Делается вывод о строго определенных геохимических условиях, в которых происходил процесс эволюционного развития живых организмов.

Закономерности распределения химических элементов даются с учетом закона В. М. Гольдшмидта, согласно которому *распространенность химических элементов в земной коре зависит от строения атомного ядра, а их распределение – от*

наружных электронов атомов; а также с учетом замечаний А. И. Перельмана о том, что *в различных геохимических процессах роль строения атома и его наружных оболочек могут быть неодинаковы для ряда элементов*. Учтено также открытие, сделанное В. А. Алексеенко, В. В. Добровольским, А. В. Сувориновым (утверждено международной ассоциацией) о закономерности изменения распределения химических элементов в верхних частях земной коры.

Разбирается связь величины абсолютного разброса (АР) химических элементов в земной коре с потенциалом ионизации, сродством к электрону и электроотрицательностью; объяснены некоторые отклонения элементов групп VII-A и I-A. Обоснован вывод о значительной роли ионов в процессе формирования осадочных пород и почв континентов. Показано, что по величинам АР все элементы четко разделяются на три группы, а также, что величины абсолютного разброса, характерные для магматических пород, претерпели существенные изменения с формированием в условиях биосферы осадочных пород и почв. Приводятся элементы, которые при этом могли стать причиной мутации отдельных видов организмов.

Показана связь значений АР элементов с их содержанием в растениях, наземных животных, бактериях. Выделены элементы, глобальное и резкое увеличение АР которых может оказать воздействие на состояние живых организмов и, в частности, на безопасность жизнедеятельности людей. Такими элементами являются относимые по величине АР к третьей группе, т. е. с минимальными значениями абсолютного разброса в биосфере.

В разделе 3.3 рассмотрен ряд особенностей поведения химических элементов в биогенных системах. Специальные исследования позволили установить десять важнейших особенностей распространенности химических элементов в организмах.

В табличных формах приводятся растения-индикаторы повышенных содержаний химических элементов; физиологические и морфологические изменения растений, вызываемые повышенными и пониженными содержаниями элементов в среде произрастания.

В разделе 3.4 приводятся данные о поведении химических элементов в крупнейших биокосных системах: атмосфере, гидросфере и педосфере. Состав атмосферы, морских, речных и подземных вод представлен в табличной форме.

Наибольшее внимание в рассматриваемом разделе уделено почвам. Обобщение материала по геохимии почв позволило сделать несколько общих выводов.

Глава 4. Особенности кларков химических элементов почв селитебных ландшафтов

В разделе 4.1 рассматриваются общие сведения о почвах селитебных ландшафтов и их геохимических особенностях, связанных с техногенным поступлением многих веществ в повышенных концентрациях. Эти вещества разделены на три группы.

1. Имеющие природные аналоги, но находящиеся в почвах в гораздо меньших концентрациях (оксиды серы и азота, удобрения и средства борьбы с вредителями растений, содержащие в повышенных содержаниях B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, Co и др.).

2. Встречающиеся в природе, но не характерные для данной геохимической системы в конкретных природных условиях (нефть и нефтепродукты, металлы и их сплавы и т. д.).

3. Не имеющие природных аналогов (пластические массы, химические волокна, моющие средства и т. д.).

Раздел 4.2 посвящен методике исследований. Изучению подверглись более 300 населенных пунктов. Их основная часть изучена авторами. Число проб в подавляющем большинстве городов колеблется от 30 до 1000. Определялись средние содержания элементов в почвах в каждом населенном пункте. Во избежание ошибок, связанных с неодинаковым числом проб, каждый город в дальнейшем был представлен одной как бы «усредненной пробой».

Использовались также литературные данные и материалы, любезно предоставленные рядом исследователей. Для некоторых городов в литературных материалах средние содержания химических элементов одного и того же населенного пункта в почвах отличались. В этих случаях среднее содержание устанавливалось по всем имеющимся данным. Как и для авторских данных, каждый город в дальнейшем представлялся «одной пробой».

Для установления средних содержаний химических элементов в почвах всех населенных пунктов из проб, представляющих средние содержания в отдельных населенных пунктах, состав-

лялась единая выборка. Она характеризовала содержания химических элементов в более чем 300 населенных пунктах Европы, Азии, Африки, Австралии и Америки.

Отдельно в главе рассматриваются методика отбора рядовых и контрольных проб почв, их расположение в населенных пунктах при опробовании с поверхности и из горных выработок (канав и шурфов); а также требования к полевой документации. Разбираются особенности подготовки проб к анализам. Приводятся данные о методах анализов, внутрилабораторном и внешнем контроле и применяемых для этого формулах расчетов.

Указывается, что для проведения еще одного контроля составлялись для групп городов, отличающихся по числу жителей, сборные пробы. Сборными пробами были также охарактеризованы города с различной техногенной нагрузкой, курорты и морские порты. Особое внимание в сборных пробах уделялось содержаниям так называемых «породообразующих» элементов: Na, K, Ca, Mg, Al, Si и др. Сборные пробы в обязательном порядке подвергались классическим химическим («мокрая химия»), рентгенофлуоресцентным и нейтронно-активационным анализам.

Значительную часть главы составляет рассмотрение всех установленных авторами средних содержаний химических элементов в почвах населенных пунктов. Они сравниваются с кларками земной коры и почв Земли (если они были ранее установлены). Для каждого элемента приведены города, средние содержания в почвах которых были в выборке, составленной для всех населенных пунктов, отнесены к «ураганным». Указываются населенные пункты с минимальными средними содержаниями элементов. При рассмотрении экологического значения установленных средних содержаний приведены данные об абсолютном разбросе (АР) элементов в почвах населенных пунктов, в сравнении с АР, установленном для пород и почв континентов Земли, а также учтено положение элементов в таблице Д. И. Менделеева.

Показано, что, по сравнению с почвами Земли, в почвах населенных пунктов возросло содержание (по классификации А. И. Перельмана) активных воздушных мигрантов (с 53,4 до 56 %) – водных катионогенных с постоянной валентностью (с 2,67 до 6,78 %); а уменьшилось – слабо и малоподвижных

(с 43 до 37 %). Отмечено, что почвы населенных пунктов отличаются от других геохимических систем ассоциациями элементов, находящихся в повышенных концентрациях. Выделены химические элементы, распространенность которых определяется первостепенной ролью техногенеза, а также совместным воздействием техногенеза и почвообразования.

Доказывается, что, хотя кларки многих элементов почв населенных пунктов существенно отличаются от кларков земной коры и почв всей Земли, общая распространенность элементов в почвах населенных пунктов в значительной мере унаследовала закономерности распространенности элементов в земной ко**ре.**

Глава 5. Некоторые особенности почв различных групп селитебных ландшафтов

Раздел 5.1 посвящен общему рассмотрению геохимических особенностей почв групп населенных пунктов, выделяемых по числу жителей. Средние содержания химических элементов в почвах каждой из групп сравниваются сначала с кларковыми содержаниями почв Земли. При этом для элементов, средние содержания которых значительно превышают кларк, рассматриваются геохимические особенности и основные области их современного использования, а следовательно, и дальнейшего потенциального накопления в почвах отдельных городов. Делаются эколого-геохимические выводы.

Для каждой группы населенных пунктов проведено сравнение средних содержаний элементов в почвах с кларковыми содержаниями земной коры. Приводятся данные об эколого-геохимических особенностях элементов, содержание которых значительно превосходит этот кларк. Для каждой группы населенных пунктов делаются соответствующие выводы.

Затем, по уже рассмотренной схеме, проводится сравнение средних содержаний элементов в почвах каждой из групп с их кларковыми значениями, установленными для почв населенных пунктов. Приводятся выводы.

После всех проведенных сравнений рассматриваются общие эколого-геохимические закономерности, характеризующие почвы отдельных групп. Всего подробно рассматриваются почвы шести групп населенных пунктов со следующими числами жителей:

1. Свыше 700 тыс.;
2. От 300 до 700 тыс.;
3. От 100 до 300 тыс.;
4. Городов с числом жителей менее 100 тыс.;
5. Небольших поселков, станиц, деревень, хуторов;
6. Туристско-рекреационных зон.

В каждой группе населенных пунктов выделены те из них, в которых среднее содержание определенных элементов или значительно превышает, или значительно меньше соответствующих кларков почв Земли, земной коры, почв населенных пунктов.

Заключение

Подводится итог излагаемому в монографии материалу. Наибольшее внимание уделено такой геохимической системе, как почвы населенных пунктов. Указываются особенности распространенности и распределения 50 химических элементов в этой системе и в меньших системах, представленных почвами отдельных групп населенных пунктов, отличающихся по числу жителей. Подчеркивается, что в отдельных группах встречаются, хотя и редко, города, геохимические особенности почв которых несколько отличаются от общих особенностей почв конкретной группы.

Установленные кларки почв населенных пунктов являются их геохимической (эколого-геохимической) характеристикой, отражающей совместное воздействие техногенных и природных процессов, происходящих в определенном временном срезе (конец XX – начало XXI в.). С развитием науки и техники величины приводимых кларков могут постепенно изменяться. Скорость этих изменений пока предсказать невозможно.

Авторы надеются, что впервые приводимые в этой книге значения кларков могут использоваться и будут применены при различных эколого-геохимических исследованиях.

SUMMARY OF CHAPTERS

Ppreface

At the present time *ecological geochemis*try has been taking the status of a separate «branch» of general geochemistry. (The first textbook on ecological geochemistry was published in 2000.) Much

as general geochemistry considers «the history of atoms of chemical elements» within the Earth (according to V. I. Vernadsky), ecological geochemistry examines «the history of atoms» but within the biosphere only, not within the whole Earth.

Abundances express the average concentrations of chemical elements in the Earth's crust, in the hydrosphere, the atmosphere, the pedosphere, in the Earth as a whole, in celestial bodies and in other geochemical and cosmochemical systems. A summary of the data on chemical composition of various rocks composing the Earth's crust to a depth of 16 km for the first time was carried out by an American scientist F. W. Clarke in 1889. The figures he obtained were somewhat refined by A. E. Fersman. At the suggestion of A. E. Fersman the figures were called «the clarkes» (abundances).

In the time of life existence, or at least in the time of the existence of human beings, the abundances of chemical elements within the Earth's crust has not been changed dramatically due to migration and concentration processes except of radioactive elements and their decay products and also noble gases. However, significant changes took place in the distribution of chemical elements.

In the biosphere the development of «history of atoms of chemical elements» has proceeded differently (and is still proceeding differently). Within this geochemical system not only the distribution, but also the abundances of elements have changed.

The rate of a number of geochemical changes taking place during the last decades in the biosphere has become catastrophically high. Such changes are often connected with human activities. To study these changes and to make better informed decisions on diminishing their adverse impact on living organisms, and especially on people, it is necessary to estimate the contemporary abundances of chemical elements in geochemical systems susceptible to the highest anthropogenic impact and having a significant effect on the development and existence of living organisms. One of such systems is soil of urban landscape**s.**

Introduction

At present certain demand arose for a conversion from a qualitative to a quantitative description of geochemical processes in the biosphere and for valid (quantitative) impact forecast.

The prerequisites for this are: 1 – the changes of environmental and geochemical situation have begun to affect the life safety and, as a result, the sustainable development of both particular regions and whole countries; 2 – many problems have passed from the category of «pure» geochemical to economic and even political; 3 – in such branches of geochemistry as environmental geochemistry, biogeochemistry and the geochemical barriers doctrine many advances have been achieved.

This background poses two large immediate problems for researchers:

a) Determination of abundances of chemical elements in the biosphere as a whole and in its constituent geochemical systems (first in larger, and then in smaller).

b) Establishment of the basic laws of environmental and geochemical changes in the biosphere and its constituent geochemical systems.

We see that the establishment of contemporary abundances of elements for different geochemical systems (notably the establishment of certain «geochemical reference» values) and above all for the soils of different geochemical landscapes groups is needed due to several objective reasons.

Chapter 1. The notions related to geochemical systems and landscapes

In section 1.1 general information about geochemical systems is provided. Three main indices necessary for their characterization are included:

1. Interrelations between the parts that make up the system.

2. The response of geochemical system to the changes in the environment

3. The history of changes taking place in geochemical system.

For geochemical characterization of the initial period of the conversion of the biosphere to the noosphere we propose to use the following indicators:

- The ratio between the masses of chemical elements, which exist and migrate in different forms.
- The intensity of elements migration.
- The formation of new geochemical barriers.

- The distance of migration of elements present in different forms.
- The distribution and the abundances of elements.

All the indicators considered above are needed for the characterization of both large and small geochemical systems of the biosphere.

In the section 1.2 general information about geochemical landscapes is presented. Classification proposed by the author is discussed. The landscape criterion advanced by A. I. Perelman and notions related to landscape details are analyzed.

The law of the development of changes in all parts (canopies) of a landscape, which take place after the changes, originally occurred only in one of the landscape canopies, and the law of changes in the adjacent landscapes after the modification of one of those landscapes are formulated. These laws operate in natural and man-made terrestrial and aquatic landscapes, as well as in the combination of two – superaquatic landscapes.

The section 1.3 is dedicated to the behavior of chemical elements in the biosphere and in its constituent geochemical systems. It gives the law of *geochemical behavior of chemical elements (their compounds) in the biosphe*re, which states t*hat concentration, distribution, and often the forms of occurrence of elements in various parts of a landscape are defined primarily by landscape-geochemical features of this particular part of the biosphere.* It is also considered the law of Clarke–Vernadsky, which states that *in any natural geochemical system we can find all chemical elements known in the Earth's crust.*

It is shown that the large lithochemical systems are stable if the abundances of chemical elements are similar to those in correspondent rocks. However, *one should use these abundances values and background concentrations for the characterization of the systems only if the scale of the research allows to consider these systems as relatively homogeneous.*

The use of information about the forms of element occurrence and leading (typomorphic) elements for system characterization is considered. Examples are given.

It is shown that *for the regular development of organisms the abundance of an element in the environment should be in accordance with its atom's structure and, consequently, with the posi-*

tion of the element in the Mendeleev Periodic Table of Chemical Elements. Such indicators of a chemical element distribution as dispersion, coefficient of variation, absolute and relative chemical elements scatter are considered.

Chapter 2. The major features of geochemical processes in urban landscapes

In sections 2.1, 2.2 general information on urban landscapes is presented and classification of settlements, based on three taxonomy levels, defined by cities' population number, industrial specialization and climatic conditions is discussed.

In section 2.3 classification of separate landscapes making up the whole urban landscape is provided. For every taxonomic level the features of landscapes are discussed.

Section 2.4 deals with characteristic features of pollution in urban landscapes, which is manifested as air pollution, contamination of groundwater, vegetation and soils. Peculiar electromagnetic, thermal, noise and radioactive contamination also takes place. Moreover, the settlements differ from the surrounding landscapes by their light and hydrological regimes. These features of urban landscapes impact the migration on concentration processes of chemical elements (their compounds) as well as influence on biogeochemical features of vegetation and geobotanical patterns. Cumulative effects of pollution in cities (especially in large ones) produce mosaic patterns, and the main depositing geochemical systems are soils being a component of an urban landscape.

In section 2.5 the information on ecological-geochemical anomalies in urban landscapes is provided. Almost all of these anomalies are polygenetic by the origin, and multicomponent by the composition.

The long-term research on technogenic geochemical anomalies allowed us to lay down the following law: *the associations of chemical elements in large technogenic geochemical anomalies are determined primarily by the level of development in science and technology during the time of anomaly formation*. This means that:

1. Anomalies are formed by a large number of elements. Among these elements the priority pollutants can be distinguished.

2. Anomalies generated in the last decades are composed almost

by the same elements, but the overwhelming majority of them is found in minimally-abnormal concentrations.

3. It must be taken into account that the level of science and technology development in the XXI century involves the use of elements, which now are considered to be rare, but which begin to enter the association of geochemical anomalies.

In various studies and administrative decision-making, aimed at the improvements in public health and environmental situation in the cities, different reference values are applied. It is not always valid to use the abundances of chemical elements estimated for soils of the world. That is why it was necessary to establish abundances of chemical elements in the soils of urban landscapes.

Chapter 3. The abundances, local background concentrations and the scatter of chemical elements in certain geochemical systems of the biosphere

Sections 3.1 and 3.2 provide general information about the abundances of chemical elements within the Earth's crust and about the laws of their distribution in the lithosphere, i.e. in abiogenic systems. Such notions as geochemical provinces, local abundances of chemical elements, abundances of chemical elements in different rocks, concentration clarkes, local background concentration are explained.

Eight most important features of abundances of chemical elements within the Earth's crust are considered. The application of such terms as «rock-forming», «rare», «excessive», «scarce» and «microelements» is substantiated. The conclusion about strictly determined geochemical settings needed for evolution of living organisms is drawn.

Important patterns in the distribution of chemical elements are given in consideration with the V. M. Goldschmidt's law which says that *the abundances of chemical elements within the Earth's crust depend on the structure of the atomic nucleus, and their distribution – on electrons on outer shells of the atoms*. Also the comments of A. I. Perel'man are taken into account: *in various geochemical processes the role of atom's structure and the outer shells may differ for a number of elements*. Additionally the discovery made by V. A. Alekseenko, V. V. Dobrovolsky and A. V. Suvorinov (ap-

proved by the International Association) about the regularities of the distribution of chemical elements in the upper Earth's crust is taken into consideration.

The association of the absolute spread (AS) of chemical elements within Earth's crust with such characteristics as the potential of ionization, the electron affinity and the electronegativity are examined; some deviations of the elements of Groups VII-A and I-A are explained. The conclusion about significant contribution of ions into formation of sedimentary rocks and soils of the continents is substantiated. It is shown that according to the AS values all elements can be clearly divided into three groups and that AS values, typical of igneous rocks, changed dramatically during the formation of sedimentary rocks and soils in the biosphere. Elements which as this process takes place could cause mutations in certain types of organisms are listed.

The relation between the AS values of elements and their concentrations in plants, terrestrial animals, bacteria is demonstrated. Global and sharp increase of AS of certain elements may affect the conditions of living organisms and, specifically, the safety of human beings. Such elements were marked out. According to their AS values they are classified to be in the third group with the minimal AS values in the biosphere.

Section 3.3 deals with a number of behavior patterns of chemical elements in biogenic systems. Special studies allowed to revealed ten important patterns of chemical elements concentrations in organisms. The section contains tables where various plants indicate the increased concentrations of chemical elements, physiological and morphological changes in plants caused by excess or lack of certain elements in the environment of growth.

Section 3.4 provides data about the behavior of chemical elements in the largest organomineral systems: the atmosphere, the hydrosphere and the pedosphere. Composition of the atmosphere, sea and river water and groundwater is presented in tabular form. The maximum attention is paid to soils. Integration of the data on soil geochemistry has allowed to draw several general conclusions.

Chapter 4. The characteristics of abundances of chemical elements in urban soils

Section 4.1 deals with general information about soils of urban landscapes and their geochemical characteristics associated with technogenic addition of many substances resulted in their elevated concentrations. These substances are divided into three groups:

1.Those which have natural analogues, but are presented in soils in much lower concentrations (oxides of sulfur and nitrogen, fertilizers and insecticides containing B, Cu, Fe, Mn, Mo, Zn, Co, etc.).

2.Those which occur naturally, but not typical of certain natural conditions (oil and oil products, metals and their alloys, etc.).

3.Those which don't have natural analogues (plastics, synthetic fibers, detergents, etc.).

Section 4.2 is dedicated to the research methods. The research was carried out in more than 300 settlements. Most of them were studied by the authors. The number of samples taken in each city varies between 30 and 1000. For every city the average concentrations of elements in soils were determined. To avoid the errors related to unequal number of samples, each city was then represented by only one «averaged» sample.

The published data and the materials kindly provided by a number of researchers were also incorporated into research. If the average concentration of a chemical element in one literature source differed from the correspondent values in other sources the average value was calculated. In this case, similarly to the author's data, the city was represented by a single «averaged» value.

To characterize the abundances of chemical elements in urban soils a collection of «averaged» samples was used. This collection of samples represented the concentrations of chemical elements in more than 300 cities in Europe, Asia, Africa, Australia and America.

Separately, this chapter discusses the method of sampling, the locations of sampling sites in the cities (for sampling the surface and mine pits and trenches). Also it reports on the requirements for field documentation. The necessary procedures for sample preparations for chemical analysis are discussed. The data on the methods of chemical analysis used by internal and external laboratories and the formulae used for the calculations are presented.

It is stated that for the groups of cities with different population numbers additional control was performed using integrated

samples. The integrated sample approach was also applied for characterization of cities with various technogenic impact as well as for resorts and seaports. Special attention in integrated sample analysis was paid to the concentration of so-called «rock-forming» elements (Na, K, Ca, Mg, Al, Si, etc.). The integrated samples were undergone a classical chemical («wet chemistry»), X-ray fluorescence and neutron activation analyses.

A significant part of this chapter deals with the average concentrations of chemical elements in urban soil established by the authors. They are compared with the existing data on the abundances of chemical elements in the Earth's crust and the Earth's soil cover. For each element cities with average concentrations, reaching the high outlier grade (when regarding total sample population), are listed. Cities with the minimum average element concentrations are named.

When considering ecological significance of the established abundances, the data on absolute spreads (AS) of the elements in urban soils are presented. These values are compared with AS values of chemical elements in rocks and soils of the continents of the Earth. The locations of elements in the D. I. Mendeleev Periodic Table are discussed as well.

It is shown that in comparison with the Earth's soils, in urban soils the concentrations of active air migrants (according to the classification of A. I. Perelman) have increased (from 53.4 to 56 %). The same is true for water cationic migrants with the constant valence (the concentrations have increased from 2.67 to 6.78 %). At the same time the concentrations of poorly active and very poorly active elements have dropped (from 43 to 37 %). It is highlighted that the soils of settlements can be distinguished by associations of accumulating elements from other geochemical systems. The chemical elements with abundances determined mainly by technogenesis and joint influence of technogenesis and soil formation are identified.

It is proved that, in spite of significant differences between abundances of many elements in urban soils and those values calculated for the Earth's crust and the Earth's soil cover, the general patterns of element abundances in urban soils to a large extent repeat those in the Earth's crust.

Chapter 5. Some features of soils belonging to different groups of urban landscapes

Section 5.1 deals with geochemical features of different groups of cities, separated according to their population numbers. The average concentrations of chemical elements found for every group firstly are compared with the abundances of chemical elements within the Earth's soil cover. For the elements, which average concentrations are reported to exceed these values, geochemical characteristics are given, main fields of their current use are discussed, and, consequently, the potential of their further accumulation in soils of individual cities is examined. The ecological and geochemical conclusions are drawn.

Secondly the average concentrations of elements in urban soils are compared with the abundances of chemical elements within the Earth's crust. The information about the ecological and geochemical characteristics of the elements which concentrations considerably exceed these values is presented. For every group of cities the conclusions are drawn.

Then, following the scheme discussed above, the average concentrations of elements established for the groups of urban soils are compared with their abundances established for the whole population of urban soils.

After that general ecological and geochemical patterns typical of individual groups of settlements are presented. In total soils of six groups with the following population numbers are examined in details:

1. more than 700 thousand;
2. from 300 to 700 thousand;
3. from 100 to 300 thousand;
4. cities with population less than 100 thousand;
5. small towns, villages, hamlets;
6. tourist and recreational areas.

Within each of the listed groups we give the names of cities where the average concentrations of certain elements considerably exceed or significantly less than the abundances of the correspondent chemical elements in the Earth's crust, the Earth's soil cover and in total urban soil population.

Conclusion

The material expounded in the monograph is summarized. The maximum attention is paid to such geochemical system as soils of settlements (cities). The patterns of abundances and distributions of 50 chemical elements within this system are specified and smaller systems represented by soils of individual groups of cities with different population numbers are also studied. It is emphasized that certain groups uncommonly incorporate cities with soils having different geochemical features compared to soils of this particular group.

The established abundances of chemical elements in urban soils can be considered as their geochemical (ecological and geochemical) characteristic, reflecting the combined impact of technogenic and natural processes occurring during certain time period (the end of the XX century – beginning of the XXI century). With the development of science and technology the abundances may gradually change. The rate of these changes is still poorly predictable.

The authors hope that the abundances of chemical elements presented for the first time in the book may and will be used during various ecological and geochemical studies.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Авессаломова И. А.* Ландшафтно-функциональные карты при изу-чении геохимических аномалий в городе // Вестник Моск. ун-та. Сер. География. – 1986. – № 5.
2. *Агаркова М. Г.* Эколого-генетические особенности почв городских экосистем (на примере Ленинского района г. Москвы): автореф. дис. канд. биол. наук. – М., 1991. – 22 с.
3. *Алексеенко А. В.* Опыт использования геоботанических изменений тополя пирамидального (PopulusPyramidalis) для выявления экологически неблагоприятных зон в одном из районов г. Новороссийска // Геохимия биосферы: IV Международное совещание (Сб. материалов и тезисов). – Новороссийск, 2008. – С. 40–41.
4. *Алексеенко А. В.* Некоторые особенности распространенности Ba, Cu, Pb, Zn в почвах приморских курортных центров // Геоэкологические проблемы современности: Доклады 2-й Междунар. научной конференции 18–20 сентября 2008г. – Владимир, 2008. – С. 35–36.
5. *Алексеенко А. В.* Содержание ряда металлов в почвах приморских населенных пунктов // Геоэкологические проблемы современности: Доклады 3-й Междунар. научной конференции 23–25 сентября 2010г. – Владимир, 2010. – С. 37–39.
6. *Алексеенко В. А.* Геохимические методы поисков месторождений полезных ископаемых, 1973, 1974 (Казахстан); 1979 (М.: Недра); 1989 (М.: Высшая школа); 2000, 2005 (М.: Логос).
7. *Алексеенко В. А.* Геохимия стратифицированных свинцово-цинковых месторождений. – Ростов н/Д.: Изд-во Рост. ун-та, 1981. – 256 с.
8. *Алексеенко В. А.* Ландшафтно-геохимические исследования и окружающая среда / отв. ред. А. И. Перельман. – Ростов н/Д.: Изд-во Рост. ун-та, 1989. – 126 с.
9. *Алексеенко В. А.* Геохимия ландшафта и окружающая среда. – М.: Недра, 1990. – 142 с., ил.
10. *Алексеенко В. А.* Классификация геохимических ландшафтов населенных пунктов // Экология: опыт, проблемы, поиск. – Новороссийск, 1991. – С. 3–11.

11. *Алексеенко В. А.* Экологическая геохимия. – М.: Логос, 2000. – 627 с., ил.
12. *Алексеенко В. А.* Геохимические системы биосферы. Эколого-геохимическое состояние. – Краснодар: Изд-во КубГТУ, 2003. – 194 с.
13. *Алексеенко В. А. [и др.].* Эколого-геохимические исследования. – Краснодар: Изд-во КубГТУ, 2003. – 170 с.
14. *Алексеенко В. А.* Жизнедеятельность и биосфера. – М.: Логос, 2005. – 232с., ил.
15. *Алексеенко В. А.* Эколого-геохимические изменения в биосфере. Развитие, оценка. – М.: Универ. Книга; Логос, 2006. – 520 с.
16. *Алексеенко В. А.* Кларки и местные фоновые содержания химических элементов в различных геохимических системах биосферы в связи с развитием экологической геохимии. – Тяжёлые металлы и радионуклиды в окружающей среде: матер. VI Междунар. научно-практич. конф. Семей, Казахстан, 2010. – С. 39–44.
17. *Алексеенко В. А.* Геоботанические исследования для решения ряда экологических задач и поисков месторождений полезных ископаемых. – М.: Логос, 2011. – 244с., цв. вкл.
18. *Алексеенко В. А., Гладкова А. Д., Алексеенко А. В.* Содержание Ba, Cu, Pb и Zn в почвах ряда курортных и туристических центров // Геохимия биосферы: IV Междунар. совещание (Сб. материалов и тезисов). – Новороссийск, 2008. – С. 96–98.
19. *Алексеенко В. А., Лаверов Н. П., Алексеенко А. В.* К вопросу о содержании химических элементов в почвах селитебных ландшафтов. Школа экологической геологии и рационального природопользования. – СПб., 2011. – С. 39–45.
20. *Алексеенко В. А., Лаверов Н. П., Алексеенко А. В.* Кларки химических элементов почв селитебных ландшафтов. Методика проведения исследований // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии: Научный журнал. – 2012. – № 3 (20). Семей, – С. 120–125.
21. *Алексеенко В. А., Лаверов Н. П., Алексеенко А. В.* О кларках химических элементов в почвах населенных пунктов // Міністерство освіті і науки, молоді та спорту Украіни. Наукові праці. Серія «Гірничо-геологічна». – Донецьк, 2011. – Вип. № 15 (192). – С. 17–21.
22. *Алексеенко В. А., Лаверов Н. П.* Распространенность химических элементов в почвах населенных пунктов // Материалы докладов. VI Съезд общества почвоведов им. В.В. Докучаева. Кн. 2. – Петрозаводск–М., 2012. – С. 88–90.
23. *Алексеенко В. А., Седлецкий В. И., Хованский А. Д., Клевцов С. Ф.* Термобарогеохимия стратифицированных свинцово-цинковых месторождений. – Ростов-н/Д.: Изд-во Рост. ун-та, 1978. – 336 с.
24. *Алексеенко В. А., Суворинов А. В., Власова Е. В.* Металлы в окружающей среде. Лесные ландшафты Северо-Западного Кавказа. – М.: Универ. Книга, 2008. – 264 с., ил.
25. Анализ объектов окружающей среды / И. И. Назаренко [и др.]. – М.: ВИЭМС, 1989.
26. *Антонов А. Е.* Зарубежные месторождения серебра. – М.: Недра, 1992.
27. *Балашов Ю. А.* Геохимия редкоземельных элементов. – М.: Наука, 1976.
28. *Барабой В. А.* Ионизирующая радиация в нашей жизни. – М.: Наука, 1991.
29. *Белякова Т. М., Гусейнов А. Н., Понарина М. В.* Эколого-геохимические особенности городских ландшафтов в центрах металлургического производства // Географическое прогнозирование и охрана природы. М.: Изд-во МГУ, 1990.
30. *Беус А. А., Грабовская Л. И., Тихонова Н. В.* Геохимия окружающей среды. – М.: Недра, 1976.
31. *Битюкова В. Р., Касимов Н. С., Власов Д. В.* Экологический портрет российских городов // Экология и промышленность России. – 2011. апрель. – С. 6–18.
32. *Бингем Ф., Перье Ф., Джерал У.* Токсичность металлов в сельскохозяйственных культурах // Некоторые вопросы токсичности ионов металлов. – М.: Мир, 1993.
33. *Виноградов А. П.* Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах. – М.: Изд-во АН СССР, 1957.
34. *Виноградов А. П.* Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных горных пород земной коры // Геохимия. – 1962. – № 7. – С. 555–572.
35. *Войткевич Г. В., Кизильштейн Л. Я., Холодков Ю. И.* Роль

органического вещества в концентрации металлов в земной коре. – М.: Недра, 1983.
36. *Войткевич Г. В. [и др.].* Справочник по геохимии. М.: Недра. 1990.185с.
37. Вредные химические вещества: радиоактивные вещества / В. А. Баженова [и др.] / gод ред. В. А. Филова. – Л.: Химия, 1990.
38. *Гармаш Г. А.* Тяжелые металлы в огородных культурах и почвах // Агрохимия. – 1984. – № 3.
39. *Геннадиев А. Н. [и др.].* Динамика загрязнения почв полициклическими ароматическими углеводородами и индикация состояния почвенных экосистем // Почвоведение. – 1990. – № 10. – С. 75–85.
40. Геологическая служба и развитие минерально-сырьевой базы / под ред. А. И. Кривцова. – М.: ЦНИГРИ, 1993.
41. Геологический справочник по сидерофильным и халькофильным редким металлам / В. В. Иванов [и др.] / под ред. Н. П. Лаверова. – М.: Недра, 1989.
42. Геохимия, минералогия и генетические типы месторождений редких элементов. Т. 2. Минералогия / под ред. К. А. Власова. – М.: Наука, 1966.
43. Геохимия молибдена и вольфрама / под ред. В. В. Щербина. – М.: Наука, 1971.
44. Геохимия окружающей среды / Ю.Е. Сает [и др.]. – М.: Недра, 1990.
45. *Герасимова М. И., Строганова М. Н., Можарова Н. В., Прокофьева Т. В.* Антропогенные почвы (генезис, география, рекультивация) / под ред. Г. В. Добровольского. – М.: Ойкумена, 2003. 266 с.
46. *Глазовская М. А.* Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. – М.: Высшая школа, 1988. – 324 с.
47. *Грушко Я. М.* Вредные неорганические соединения в промышленных выбросах в атмосферу. – Л.: Химия, 1987.
48. Городские ландшафты // Вопр. географии. Вып. 106. – М.: Мысль, 1977. – 215 с.
49. *Дербинева М. П. [и др.].* Ленинский район Москвы. Экологические аспекты развития // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. – 1982. – № 3.
50. *Добровольский В. В.* География микроэлементов. Глобальное рассеяние. – М.: Мысль, 1983. – 272 с.
51. *Дончева А. В., Казаков Л. К., Калуцков В. Н.* Ландшафтная индикация загрязнения природной среда. – М.: Экология, 1992. – 256 с.
52. Ежегодник. Загрязнение почв России токсикантами промышленного происхождения в 1991 г. – Обнинск, 1992.
53. Ежегодник. Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 1992 году. – Обнинск, 1993. – 245 с.
54. Загрязнение атмосферы и почвы / под ред. П. Е. Тулупова. – М.: Гидрометеоиздат, 1991.
55. *Иванов В. В., Панфилов Р. В.* О геохимической корреляции минеральных ресурсов // Докл. АН СССР. – Е. 249. – 1979. – № 1. – С. 193–196.
56. *Иванов В. В., Панфилов Р. В.* О зависимости между рассеянием и концентрацией в общем геохимическом цикле миграции элементов в земной коре // Геохимия. – 1985. – № 9.– С. 1250–1259.
57. *Иванов В. В.* Экологическая геохимия элементов. – М.: Экология, 1994–1997. – Т. 1–6.
58. *Иванов В. В., Юшко-Захарова О. Е.* Экогеохимия редких элементов // Разведка и охрана недр. – 1993. – № 3.
59. *Иванова Т. Г.* Распределение тяжелых металлов в ландшафтно-геохимических условиях урбанизированных территорий Ярославского Поволжья: автореф. дис. канд. биолог, наук. – М.: 1990. – 24 с.
60. *Иванова Ю. С.* Влияние несанкционированных свалок бытовых отходов на экологическое состояние почв (на примере территории г. Ульяновска): автореф. дис. – Ульяновск, 2012. – 22с.
61. *Иващенко Н. Г., Алексеенко А. В.* Эколого-геохимические особенности трансформации почв некоторых селитебных ландшафтов Краснодарского края под влиянием городского транспорта // Антропогенная трансформация природной среды: Материалы Междунар. конференции (18–21 октября 2010 г.). – Т. 1. – Ч. 1. – Пермь, 2010. – С. 315–320.
62. *Ильин В. Б., Сысо А. И.* Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах и растениях Новосибирской области. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. – 229 с.

63. *Кабата-Пендиас А., Пендиас Х.* Микроэлементы в почвах и растениях. – М.: Мир, 1989. – 439 с.
64. *Касимов Н. С. [и др.].* Эколого-геохимические оценки городов // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. – 1990. – № 3. – С. 3–12.
65. *Касимов Н. С., Никифорова Е. М.* Геохимия городов и городских ландшафтов // Экология города / под ред. А. С. Курбатовой [и др.]. – М.: Научный мир, 2004. – С. 234–268.
66. *Касимов Н. С., Перельман А. И.* Геохимические принципы эколого- географической систематики городов // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. география. – 1993. – № 3. – С. 16–21.
67. *Ковалевский А. Л.* Биогеохимические поиски рудных месторождений. – М.: Недра, 1984.
68. *Ковальский В. В.* Геохимическая экология. – М.: Наука, 1974.
69. *Коган Б. И.* Редкие металлы. Состояние и перспективы. – М.: Наука, 1979.
70. *Кошелева Н. Е., Никифорова Е. М.* Антропогенная трансформация физико-химических свойств городских почв и ее влияние на накопление свинца // Современные проблемы загрязнения почв: Матер. II Междунар. науч. конф. – М.: Изд-во МГУ, 2007. – С. 123–127.
71. *Левинсон А.* Введение в поисковую геохимию. – М.: Мир, 1976.
72. *Лепнева О. М., Обухов А. И.* Экологические последствия влияния урбанизации на состояние почв Москвы // Экология и охрана природы Москвы и Московского региона. – М.: Изд-во МГУ, 1990.
73. *Махонько Э. Г.* Методики оценки приоритетности контроля содержания металлов в почве. Ежегодник «Загрязнение почв Советского Союза токсикантами промышленного происхождения в 1989 году». – Обнинск, 1990. – С. 175–182.
74. Металлы в окружающей среде. Почвы геохимических ландшафтов Ростовской области / В. А. Алексеенко, А. В. Суворинов, В. Ап. Алексеенко, А. П. Бофанова. – М.: Логос, 2002. – 312 с., ил.
75. Минерально-сырьевая база редких элементов СНГ и зарубежных стран / В. М. Роговой [и др.]. – М.: ИМГРЭ, 1992.

76. *Москалев Ю. И.* Минеральный обмен. – М.: Медицина, 1985.
77. *Москаленко Н. Н., Смирнова Р. С.* Геохимическая оценка загрязнения окружающей среды Ленинского района Москвы // Экология и охрана природы Москвы и Московского региона. – М.: Изд-во МГУ, 1990.
78. *Мотузова Г. В., Безуглова О. С.* Экологический мониторинг почв. – М.: Академический Проект; Гаудеамус, 2007. – 237 с.
79. *Мырлян Н. Ф., Морару К. Е., Настас Г. И.* Эколого-геохимический атлас Кишенева. – Кишенев, 1992. – 116 с.
80. *Мырлян Н. Ф., Настас Г. С, Милкова Л. Н.* Геохимическая трансформация распределения и форм нахождения тяжелых металлов в городских почвах // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. – 1992. – С. 84–91.
81. *Никифорова Е. М., Кошелева Н. С., Касимов Н. С.* Оценка загрязнения тяжёлыми металлами почв Восточного округа г. Москвы (по данным 1989–2010 гг.) // Инженерная геология. – М., 2011 – № 3. – С. 34–45.
82. *Никифорова Е. М., Лазукова Г. Г.* Геохимическая оценка загрязнения тяжелыми металлами почв и растений городских экосистем Перовского района Москвы // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. – 1991. – № 3. – С. 44–53.
83. *Никифорова Е. М., Лазукова Г. Г.* Эколого-геохимическая оценка состояния природной среды г. Новгорода // Эколого-геохимическая оценка городов различных регионов страны. – М.: ИМГРЭ, 1991.
84. *Никифорова Е. М., Рубилина Н. Е.* Геохимическая оценка загрязнения городских почв тяжелыми металлами // Вопросы теории и практики охраны и рационального использования Новгородской и прилегающих областей: тез. докл. науч. конф. – Новгород, 1989.
85. *Никифорова Е. М., Рубилина Н. Е.* Особенности геохимической трансформации почв г. Новгорода // Физико-географический аспект изучения урбанизированных территорий: тез. докл. Всесоюзн. конф. – Ярославль, 1992.
86. *Обухов А. И., Лепнева О. М.* Биогеохимия тяжелых металлов в городской среде // Почвоведение. – 1989. – № 5.
87. *Обухов А. И.* [и др.]. Тяжелые металлы в почвах и расте-

ниях Москвы // Экологическиеисследования в Москве и Московской области. – М., 1990. – С. 148–162.
88. *Овчинников Л. Н.* Прикладная геохимия. – М.: Недра, 1990.
89. *Перельман А. И.* Диалектика развития природного ландшафта // Природа. – 1965. – № 3.
90. *Перельман А. И.* Геохимия эпигенетических процессов (зона гипергенеза). – 3-е изд. – М.: Недра, 1968. – 371с.
91. *Перельман А. И.* Геохимия элементов в зоне гипергенеза. – М.: Недра, 1972. – 288 с.
92. *Перельман А. И.* Геохимия ландшафта. – М.: Высшая школа, 1975. – 342 с.
93. *Перельман А. И., Мырлян Н. Ф.* О геохимических принципах систематики антропогенных ландшафтов // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. – 1984. – № 2. – С. 44–50.
94. *Перельман А. И., Касимов Н. С.* Геохимия ландшафта. – М.: Астрея-2000, 1999. – 763 с.
95. *Петрухин В. А.* Фоновое загрязнение фоновыми металлами природных сред в бассейне Верхней Волги // Мониторинг фонового загрязнения природной среды. – Л.: Гидрометеоиздат, 1982. – С. 147–165.
96. *Полынов Б. Б.* Избранные труды. – М.: Изд-во АН СССР, 1956.
97. Почва, город, экология / под ред. Г. В. Добровольского. – М.: Фонд за экологическую грамотность, 1997. – 320 с.
98. Проблемы качества городской среды / под ред. Г. М. Лаппо и Т. В. Бочкаревой. – М.: Наука, 1989. – 192 с.
99. *Разенкова Н. И., Самойлова Ю. С.* Ртуть в зоне окисления. – М.: Недра, 1975.
100. *Ратанова М. П., Битюгова В. Р., Остапенко Л. С.* Медико-географические проблемы загрязнения воздушного бассейна городских агломераций// Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. – 1989. – № 2. – С. 65–72.
101. *Рохмистров В. Л., Иванова Т. Г.* Изменение дерново-подзолистых почв в условиях крупного промышленного центра // Почвоведение. – 1985. – № 5.
102. Ртуть в биосфере: эколого-геохимические аспекты. Материалы Междунар. симпозиума (Москва, 7–9 сентября 2010 г.). – М.: ГЕОХИ РАН, 2010. – 477 с.

103. *Сает Ю. Е., Онищенко Т. Л., Янин Е. П.* Методические рекомендации по геохимическим исследованиям рудных месторождений при проведении геологоразведочных работ для оценки воздействия на окружающую среду горнодобывающих предприятий. – М.: ИМГРЭ, 1986.
104. *Сает Ю. Е., Смирнова Р. С.* Геохимические принципы выявления зон воздействия промышленных выбросов в городских агломерациях // Вопросы географии. Сб. 120. – М.: Мысль, 1983.
105. *Сапрыкин Ф. Я.* Геохимия почв и охрана природы. – Л.: Недра, 1984.
106. *Сауков А. А.* Геохимия. – М.: Наука, 1966.
107. Свинец в окружающей среде / под ред. В. В. Добровольского. – М.: Наука, 1987.
108. *Соколов Л. С., Астрахан Е. Д.* Загрязнение территории Москвы металлами // Природа. – 1993. – № 7. – С. 68–73.
109. *Солодов Н. А., Бурков В. В., Овчинников Л. Н.* Геологический справочник по легким литофильным редким металлам. – М.: Недра, 1986.
110. *Солодов Н. А., Семенов Е. И., Бурков В. В.* Геологический справочник по тяжелым литофильным редким металлам. – М.: Недра, 1987.
111. *Сорокина Е. П. [и др.].* Геохимические исследования для целей экологической оценки урбанизированных территорий. «Инф. материал. п. 2. Проект МАБ-11». – М.: 1984.
112. Справочник по геохимии / Г. В. Войткевич, А. В. Кокин, А. Е. Мирошников, В. Г. Прохоров. – М.: Недра, 1990.
113. *Строганова М. Н. [и др.].* Экологическое состояние почвенного покрова урбанизированных территорий (на примере Москвы и Пущино) // Экологические исследования в Москве и Московской области. – М.: ИНИОИ, 1990. – С. 127–147.
114. *Строганова М. Н., Огаркова М. Г.* Городские почвы: опыт изучения систематики (на примере почв юго-западной части г. Москвы) // Почвоведение. – 1992. – № 7. – С. 16–24.
115. *Федорчук В. П., Минцер Э. Ф.* Геологический справочник по ртути, сурьме и висмуту. – М.: Недра, 1990.
116. Фоновое содержание Pb, Hg, As, Cd в природных средах /

Ф. Я. Ровинский [и др.] // Мониторинг фонового загрязнения природной среды. Вып.1. – Л.: Гидрометеоиздат, 1982.
117. *Фурсов В. З.* Ртуть – индикатор при геохимических поисках рудных месторождений. – М.: Недра, 1977.
118. *Цирд М.* Исследование состояния воздушного бассейна городов с помощью природных индикаторов: автореф. дис. канд. биол. наук. – М.: 1989. – 24 с.
119. *Челищев Н. Ф., Грибанова Н. К.* Обменные реакции и формы нахождения металлов в океанических железомарганцевых конкрециях // Минер. Журнал. – 1985. – Т. 7. – № 4. – С. 3–10.
120. *Челищев Н. Ф., Грибанова Н. К.* Сорбционные свойства железомарганцевых океанических конкреций // Геохимия. – 1983. – № 5. – С. 770–777.
121. *Эйхлер В.* Яды в нашей жизни. – М.: Мир, 1993.
122. Экогеохимия городских ландшафтов / под ред. Н. С. Касимова МГУ, 1995. – 336 с.
123. Эколого-геохимическая оценка городов различных регионов страны / под ред. Э. К. Буренкова, Н. Ф. Челищева. – М.: ИМГРЭ, 1991.
124. *Янин Е. П.* Ртуть в окружающей среде промышленного города. – М.: ИМГРЭ, 1992.
125. *Янин Е. П.* Экологическая геохимия горнопромышленных территорий: Обзор. Вып. 2. – М.: Геоинформмарк, 1993.
126. *Яницкий О. Н.* Экология города. М.: Наука, 1984. 240 с.
127. *Ярошевский А. А.* Кларки геосфер // Справочник по геохимическим поискам полезных ископаемых. – М.: Недра, 1990. – С. 7–14.
128. *Alekseenko V. A., Laverov N. P., Alekseenko A. V.* The Clarke numbers of chemical elements in the urban landscapes soils // Ecologica – Scientific Professional Society for Environmental Protection of Serbia. – Belgrade, 2012. – № 65. – P. 3–9.
129. *Birke M., Rauch U.* Urban Geochemistry in the Berlin Metropolitan Area // Environmental Geochemistry and Health. – 2000. – V. 22. – P. 233–248.
130. *Bowen H. J. M.* Environmental Chemistry of the Elements. – N. Y.: Acad.Press, 1979.
131. *Bowen H. J. M.* Trace elements in biochemistry. – Ld. – N. Y.: Acad. Press, 1966.
132. *Crnkovic D., Ristic M., Antonovic D.* Distribution of heavy metals and Arsenic in soils of Belgrade (Serbia and Montenegro) // Soil & Sediment Contamination. – 2006. – V. 15. – P. 581–589.
133. *Doichinova V., Zhiyanski M., Hursthouse A.* Impact of urbanisation on soil characteristics // Environmental Chemistry Letter. – 2006. – V. 3. – P. 160–163.
134. *Imperato M., Adamo P., Naimo D., Arenzo M., Stanzione D., Violante P.* Spatial distribution of heavy metals in urban soils of Naples city (Italy) // Environmental Pollution. – 2003. – V. 124. – P. 247–256.
135. Kommission der Europaischen Gemeinschaften... Ecotoxicology of Cadmium, EUR 7499, GSF-BerichtQ-629,1981.
136. *Lehmann A., Stahr K.* Nature and Significance of Anthropogenic Urban Soils // Soils & Sediments. – 2007. – V. 7 (4). – P. 247–260.
137. Lehrbuch der OkologischenChemie. Herausgegeben von F. Korte. UnterMitarbeit von M. Behabiz, W. Klein, L. Lay, H. Parlar, L. Scheunert, Georg ThiemeVerlag-Stuttgart-New-der OkologischenChemie, Herausgegeben von F. Korte. UnterMitarbeit von M. Behabiz, W. Klein, L. Lay, H. Parlar, L. Scheunert, Georg ThiemeVerlag-Stuttgart-New-York, 1992.
138. *Li X. D., Poon C. S., Pui S. L.* Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong // Applied Geochemistry. – 2001. – V. 16. – P. 1361–1368.
139. *Linde M., Bengtsson H., Oborn I.* Concentrations and pools of heavy metals in urban soils in Stockholm, Sweden // Water, Air and Soil Pollution: Focus 1. – 2001. – P. 83–101.
140. *Lofler D., Kruse H.* Zar Toxikologic des Cadmiums, Schriftenreihe der Untersuchungesstelle fur Unwelttoxikologic des Landers, Schleswing-Holstein. Kiel, Heit 12, 1985.
141. *Lorenz K., Kandeler E.* Biochemical characterization of urban soil profiles from Stuttgart, Germany // Soil Biology & Biochemistry. – 2005. – V. 37. – P. 1373–1385.
142. *Madrid L., Diaz-Barrientos E., Ruiz-Cortes E. et al.* Variability in concentrations of potentially toxic elements in urban parks from six European cities // Journal of Environmental

Monitoring. – 2006. – V. 8. – P. 1158–-1165.
143. Metals and miner. – Annu. Rev, 1993.
144. *Morel J. L., De Kimpe C.* Urban and suburban soils: Nature, management and risks for human health // Soil Science. – 2000. – V. 165. – P. 31–40.
145. *Norra S., Lanka-Panditha M., Kramar U., Stuben D.* Mineralogical and geochemical patterns of urban surface soils, the example of Pforzheim, Germany // Applied Geochemistry. – 2006. – V. 21. – P. 2064–2081.
146. *Norra S., Stüben D.* Urban Soils // Journal of Soils & Sediments. – 2003. – V. 3 (4). – P. 230–233.
147. *Papa S., Bartoli G., Pellegrino A., Fioretto A.* Microbial activities and trace element contents in an urban soil // Environmental Monitoring Assessment. – 2009. – № 5. – P. 32–43.
148. *Pavao-Zuckerman M. A.* The Nature of Urban Soils and Their Role in Ecological Restoration in Cities // Restoration Ecology. – 2008. – № 4. – P. 642–649.
149. *Pickett S. T. A. [at al.].* Urban Ecological Systems: Linking Terrestrial Ecological, Physical, and Socioeconomic Components of Metropolitan Areas. Urban Ecological Systems. – 2008. – P. 99–122.
150. *Pouyat R. V., Yesilonis I. D., Russell-Anelli J., Neerchal N. K.* Soil Chemical and Physical Properties That Differentiate Urban Land-Use and Cover Types // Soil and Water Management and Conservation. – 2007. – V. 71. – № 3. – P. 1010–1019.
151. *Pouyat R. V., Yesilonis I. D., Szlavecz K., Groffman P. M.* Characteristics of Urban Soils // SUITMA 5, N. Y., 2009. Published online on http://www.nycswcd.net/suitma-2009/agenda.html.
152. *Shacklette H. T., Boernger J. G.* Element concentration in soils and other surficial materials of the Conterminous United States // U.S. Geol. Surv. Prof. Pap. – 1984. – V. 1270.
153. *Shacklette H. T., Erdman J. A., Harms T. F.* Trace elements in plant foodstuffs // Toxicity of Heany Metals in the Environments. Pt. I. – N. Y., 1978.
154. *Shacklette H. T.* Elements in fruits and vegetable from areas of commercialproduction in the Conterminous United States // U. S. Geol. Surv. Prof. P. – 1980. – V. 1178.

155. *Shayler H., McBride M., Russell-Anelli J.* Healthy Soils, Healthy Communities: Contaminants in Urban Soils // SUITMA 5. N. Y., 2009. Published online on http://www.nycswcd.net/suitma-2009/agenda.html.
156. *Thuy H. T. T., Tobschall H. J., An P. V.* Distribution of heavy metals in urban soils – a case study of Danang-Hoian Area (Vietnam) // Environmental Geology. – 2000. – V. 39 (6). – P. 603–610.
157. *Tume P., Bech J., Sepulveda B., Tume L.* Concentrations of heavy metals in urban soils of Talcahuano (Chile): a preliminary study // Environ. Monitoring and Assessment. – 2008. – V. 140. – P. 91–98.

Приложение 1

Кларки земной коры, почв Земли и почв населённых пунктов (содержание всех элементов в $n \cdot 10^{-3}$ % массы)

Application 1

The abundances of chemical elements in the Earth's crust, the Earth's soil cover and in urban soils (concentrations of elements in $n \cdot 10^{-3}$ %)

Элемент	Номер элемента	Кларк		
		земной коры	почв Земли	почв населённых пунктов
Ag	47	0,01	0,05	0,04
Al	13	8050	7130	3820
As	33	0,17	0,50	1,59
B	5	1,20	1,00	4,50
Ba	56	65,00	50,00	85,31
Be	4	0,38	0,60	0,33
Bi	83	0,001	–	0,11
C	6	–	–	4510
Ca	20	2960	1370	5380
Cd	48	0,01	0,05	0,09
Cl	17	17,00	10,00	28,50
Co	27	1,80	0,80	1,41
Cr	24	8,30	20,00	8,00
Cs	55	0,37	0,50	n·1,0
Cu	29	4,70	2,00	3,90
Fe	26	4650	3800	2230
Ga	31	1,90	3,00	1,62
Ge	32	0,14	0,50	0,18
H	1	–	2300*	1500
Hg	80	0,008	0,001	0,088
K	19	2500	1360	1340

Окончание прил. 1

1	2	3	4	5
La	57	2,90	4,00	3,40
Li	3	3,20	3,00	4,95
Mg	12	1870	630	790
Mn	25	100,00	85,00	72,87
Mo	42	0,11	0,20	0,24
N	7	1,90	100	1000
Na	11	2500	630	580
Nb	41	2,00	–	1,57
Ni	28	5,80	4,00	3,30
O	8	–	–	49 000
P	15	93,00	80,00	120,05
Pb	82	1,60	1,00	5,45
Rb	37	15,00	10,00	5,80
S	16	47,00	85,00	120,00
Sb	51	0,05	–	0,10
Sc	21	1,00	0,70	0,94
Si	14	29 500	33000	28 900
Sn	50	0,25	1,00	0,68
Sr	38	34,00	30,00	45,78
Ta	73	0,25	–	0,15
Ti	22	450	460	475,79
Tl	81	0,10	–	0,11
V	23	9,00	10,00	10,49
W	74	0,13	–	0,29
Y	39	2,00	5,00	2,34
Yb	70	0,03	–	0,24
Zn	30	8,30	5,00	15,80
Zr	40	17,00	30,00	25,56

* уточнённые данные о кларке H в почвах Земли

Приложение 2

Средние содержания химических элементов в почвах отдельных групп населённых пунктов (содержание всех элементов в $n \cdot 10^{-3}$ % массы)

Application 2

The average concentrations of chemical elements in different groups of cities (concentrations of elements in $n \cdot 10^{-3}$ %)

Элемен	Номер элемента	Среднее содержание в почвах					
		городов с населением				хуторов, малых посёлков, станиц	рекреационно-туристических центров
		более 700 тыс. чел.	от 300 до 700 тыс. чел.	от 100 до 300 тыс. чел.	менее 100 тыс. чел.		
1	2	3	4	5	6	7	8
Ag	47	0,04	0,04	0,05	0,04	0,02	0,04
Al	13	3760	3736	–	4484	–	4226
As	33	2,46	1,00	2,09	1,50	0,52	2,15
B	5	–	–	–	–	–	–
Ba	56	88,06	109,14	60,27	98,04	53,69	98,39
Be	4	0,29	0,28	–	0,19	0,84	0,24
Bi	83	0,12	0,11	0,23	0,10	0,10	0,11
C	6	–	–	–	–	–	–
Ca	20	1710	7709	–	7667	–	7118
Cd	48	0,29	0,08	0,05	0,14	0,02	–
Cl	17	30,70	31,25	–	23,95	–	27,40
Co	27	1,58	1,44	1,27	1,46	1,07	1,81
Cr	24	8,27	5,50	4,22	8,15	5,28	8,81
Cs	55	–	–	–	–	–	–
Cu	29	5,51	3,01	2,81	2,82	3,47	5,69
Fe	26	1960	2011	–	2657	–	2490
Ga	31	1,74	1,61	1,51	1,52	1,80	1,62
Ge	32	0,19	0,16	0,16	0,26	0,16	0,19
H	1	–	–	–	–	–	–
Hg	80	0,03	–	–	–	–	–

Окончание прил. 2

1	2	3	4	5	6	7	8
K	19	1450	1260	–	1277	–	1277
La	57	1,50	3,20	–	–	–	–
Li	3	4,54	5,25	5,03	4,59	5,04	5,12
Mg	12	670	1010	–	911	–	1006
Mn	25	87,05	71,52	54,66	45,75	67,49	112,46
Mo	42	0,23	0,22	0,36	0,26	0,37	0,20
N	7	–	–	–	–	–	–
Na	11	660	527	–	592	–	645
Nb	41	1,67	1,57	2,42	1,70	1,50	1,64
Ni	28	3,54	2,80	2,37	1,84	2,84	3,98
O	8	–	–	–	–	–	–
P	15	134,12	108,98	132,70	120,37	131,95	119,77
Pb	82	6,62	4,56	4,34	3,95	2,27	5,52
Rb	37	5,83	5,10	–	6,30	–	6,30
S	16	160	114	–	105	–	102
Sb	51	–	–	–	–	–	–
Sc	21	0,86	0,84	1,01	1,18	0,60	1,18
Si	14	32930	26120	–	25534	–	26701
Sn	50	1,00	0,64	0,90	0,74	0,62	0,65
Sr	38	35,82	35,92	36,53	32,45	23,15	55,07
Ta	73	0,10	–	–	–	0,10	–
Ti	22	497,58	437,82	427,63	448,91	558,32	479,44
Tl	81	0,10	0,10	1,07	0,22	0,10	0,11
V	23	10,70	7,89	9,91	10,41	6,45	11,54
W	74	0,27	0,36	0,35	0,35	0,27	0,24
Y	39	2,35	2,33	3,65	2,55	1,75	1,87
Yb	70	0,25	0,23	0,30	0,30	0,27	0,25
Zn	30	20,11	11,58	9,95	9,24	9,77	19,99
Zr	40	24,39	33,08	40,02	30,87	13,17	18,77

Приложение 3

Список населённых пунктов и регионов, учтённых в данной работе

Application 4

The list of cities and regions, taken into account in this work

№ п/п	Страна, регион, город,	Данные получены	
		непосредственно авторами	из литературных источников и от отдельных исследователей
1	2	3	4
Города с населением свыше 700 тыс. жителей			
1	Австралия, Аделаида	+	
2	Австрия, Вена	+	
3	Армения, Ереван		+
4	Белоруссия, Минск		+
5	Великобритания, Лондон	+	+
6	Венгрия, Будапешт	+	
7	Вьетнам ,Дананг		+
8	Германия, Берлин		+
9	Германия, Гамбург		+
10	Германия, Кёльн	+	
11	Египет, Каир	+	
12	Испания, Мадрид		+
13	Испания, Севилья		+
14	Италия, Неаполь		+
15	Италия, Палермо		+
16	Италия, Рим	+	
17	Казахстан, Алматы	+	+
18	Китай, Пекин	+	
19	Китай, Шэньчжэнь	+	

Продолжение прил. 3

1	2	3	4
20	Китай, Гонконг	+	+
21	Россия, Краснодар	+	
22	Россия, Красноярск	+	+
23	Россия, Москва	+	+
24	Россия, Новосибирск	+	+
25	Россия, Пермь	+	
26	Россия, Ростов-на-Дону	+	
27	Россия, Самара		+
28	Россия, Санкт-Петербург	+	+
29	Россия, Челябинск		+
30	Сербия ,Белград	+	+
31	Турция, Стамбул	+	
32	Украина, Киев		+
33	Украина, Львов		+
34	Украина, Донецк		+
35	Франция, Париж	+	
36	Швеция, Стокгольм	+	+
Города с населением 300–700 тыс. жителей			
1	Австралия, Голд Кост	+	
2	Белоруссия, Брест		+
3	Белоруссия, Витебск		+
4	Белоруссия, Гомель		+
5	Белоруссия, Гродно		+
6	Белоруссия, Могилёв		+
7	Болгария, Варна	+	
8	Германия, Билефельд	+	
9	Казахстан, Актобе		+
10	Казахстан, Астана		+
11	Казахстан, Караганда		+
12	Казахстан, Костанай		+

Продолжение прил. 3

1	2	3	4
13	Казахстан, Павлодар		+
14	Казахстан, Семипалатинск		+
15	Казахстан, Тараз		+
16	Казахстан, Усть-Каменогорск		+
17	Казахстан, Шымкент		+
18	Литва, Каунас		+
19	Россия, Архангельск	+	+
20	Россия, Барнаул	+	+
21	Россия, Владивосток		+
22	Россия, Владимир	+	
23	Россия, Иркутск		+
24	Россия, Калининград	+	
25	Россия, Кемерово		+
26	Россия, Новокузнецк		+
27	Россия, Новороссийск	+	
28	Россия, Оренбург	+	
29	Россия, Смоленск	+	
30	Россия, Ставрополь	+	+
31	Россия, Томск	+	
32	Россия, Улан-Удэ		+
33	Россия, Чебоксары	+	
34	Россия, Череповец		+
35	Украина, Мариуполь		+
36	Украина, Севастополь	+	
37	Украина, Симферополь	+	
38	Финляндия, Хельсинки	+	
Города с населением 100–300 тыс. жителей			
1	Белоруссия, Барановичи	+	+
2	Белоруссия, Бобруйск		+
3	Белоруссия, Борисов		+

Продолжение прил. 3

1	2	3	4
4	Белоруссия, Орша		+
5	Белоруссия, Пинск		+
6	Великобритания, Плимут	+	
7	Великобритания, Эксетер	+	
8	Германия, Дрезден	+	
9	Италия, Бриндизи	+	
10	Италия, Верона	+	
11	Италия, Лечче	+	
12	Италия, Падуя	+	
13	Казахстан, Актау (бывш. Шевченко)	+	+
14	Казахстан, Атырау		+
15	Казахстан, Кызылорда		+
16	Казахстан, Павлодар		+
17	Казахстан, Петропавловск		+
18	Казахстан, Талдыкорган		+
19	Казахстан, Темиртау		+
20	Казахстан, Уральск		+
21	Россия, Бийск		+
22	Россия, Великий Новгород		+
23	Россия, Владикавказ	+	
24	Россия, Магадан	+	
25	Россия, Междуреченск		+
26	Россия, Ногинск-Электросталь		+
27	Россия, Петрозаводск	+	+
28	Россия, Рубцовск		+
29	Россия, Таганрог	+	
30	Россия, Черкесск	+	
31	Украина, Артёмовск		+
32	Украина, Горловка		+
33	Украина, Житомир		+

Продолжение прил. 3

1	2	3	4
34	Украина, Черкассы		+
35	Франция, Амьен	+	
Регионы, в которых изучены города с числом жителей менее 100 тыс.			
1	Белоруссия, Брестская область		+
2	Белоруссия, Витебская область		+
3	Белоруссия, Гомельская область		+
4	Белоруссия, Гродненская область		+
5	Белоруссия, Минская область		+
6	Белоруссия, Могилёвская область		+
7	Бельгия, Эно, провинция	+	
8	Казахстан, Алматинская область	+	
9	Казахстан, Восточно-Казахстанская область		+
10	Казахстан, Карагандинская область		+
11	Казахстан, Талдыкурганская область	+	
12	Польша, Куявско-Поворское воеводство		+
13	Россия, Алтайский край		+
14	Россия, Еврейская автономная область		+
15	Россия, Калининградская область	+	
16	Россия, Краснодарский край	+	
17	Россия, Красноярский край		+
18	Россия, Ленинградская область	+	
19	Россия, Московская область		+
20	Россия, Мурманская область		+
21	Россия, Новосибирская область		+
22	Россия, Республика Коми		+
23	Россия, Ростовская область	+	
24	Сан-Марино	+	
25	Россия, Ставропольский край	+	
26	Украина, Волынская область		+
27	Украина, Запорожская область		+

Продолжение прил. 3

1	2	3	4
28	Украина, Киевская область		+
29	Украина, Черниговская область		+
30	Франция, Ивелин, департамент	+	
Регионы, в которых изучены хутора, деревни, посёлки			
1	Иордания, Акаба	+	
2	Россия, Алтайский край		+
3	Россия, Дагестан	+	
4	Россия, Краснодарский край	+	
5	Россия, Приморский край		+
6	Россия, Ростовская область	+	
7	Россия, Томская область		+
8	Украина, Киевская область		+
9	Финляндия, Виролахти	+	
Регионы, в которых изучены рекреационно-туристические центры			
1	Австрия	+	
2	Болгария, Бургасская область	+	
3	Болгария, Добричская область	+	
4	Великобритания, Девон, графство	+	
5	Германия, Бавария	+	
6	Германия, Северный Рейн-Вестфалия	+	
7	Египет, Красноморская провинция	+	
8	Египет, Луксор	+	
9	Египет, Южный Синай	+	
10	Иордания, Маан	+	
11	Италия, Апулия	+	
12	Испания, Канарские острова	+	
13	Куба	+	
14	Россия, Владимирская область	+	
15	Россия, Калининградская область	+	
16	Россия, Краснодарский край	+	

Окончание прил. 3

1	2	3	4
17	Россия, Ленинградская область	+	
18	Россия, Ставропольский край	+	
19	Сан-Марино	+	
20	США, Северные Марианские острова	+	
21	Украина, Крым	+	
22	Франция, Версаль	+	

Приложение 4

Application 3

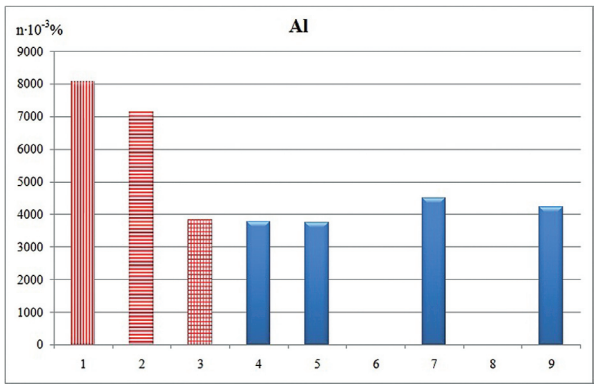
Кларки и средние содержания химических элементов

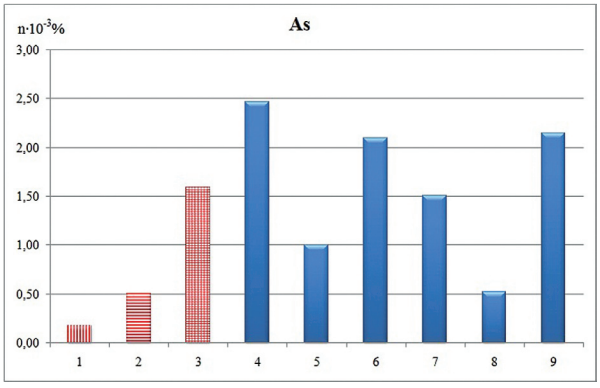
The abundances of chemical elements

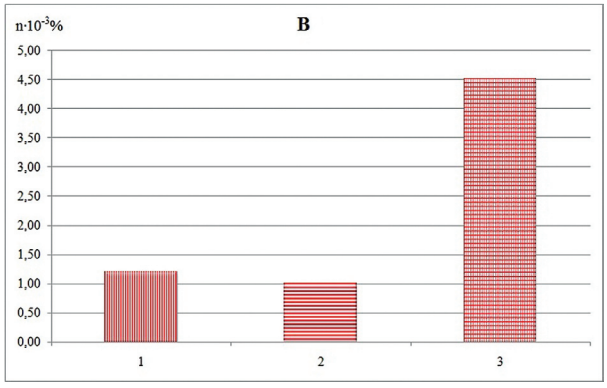
Кларки (1–3):
1 – земной коры; 2 – почв Земли; 3 – почв населённых пунктов.
Средние содержания в почвах групп населённых пунктов (4–9):
4 – с численностью населения более 700 тыс. чел.; 5 – с численностью населения от 300 до 700 тыс. чел.; 6 – с численностью населения от 100 до 300 тыс. чел.; 7 – с численностью населения менее 100 тыс. чел.; 8 – хуторов, малых посёлков, станиц; 9 – курортно-рекреационных центров.

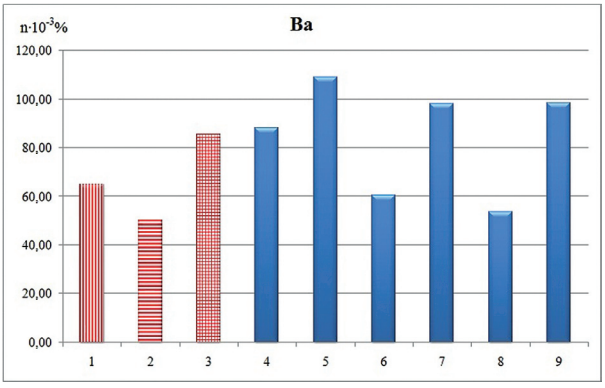
The abundances (1–3):
1 – in the Earth's crust; 2 – in the Earth's soil cover; 3 – in urban soils.
The average concentrations in different groups of cities (4–9):
4 – the population number more than 700 thousand; 5 – the population number from 300 to 700 thousand; 6 – the population number from 100 to 300 thousand; 7 – cities with population less than 100 thousand;
8 – small towns, villages, hamlets; 9 – tourist and recreational areas.

Продолжение прил. 4

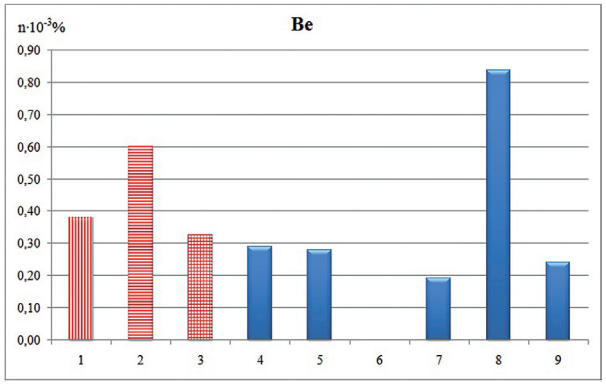


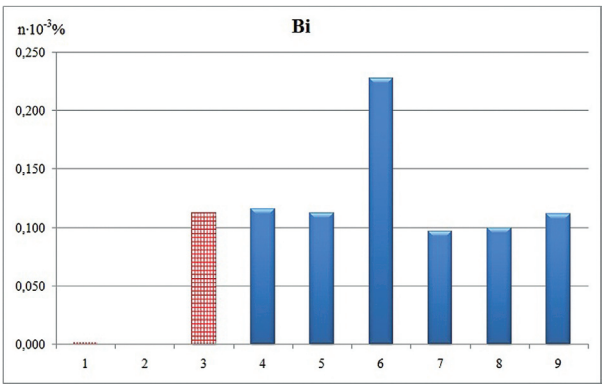


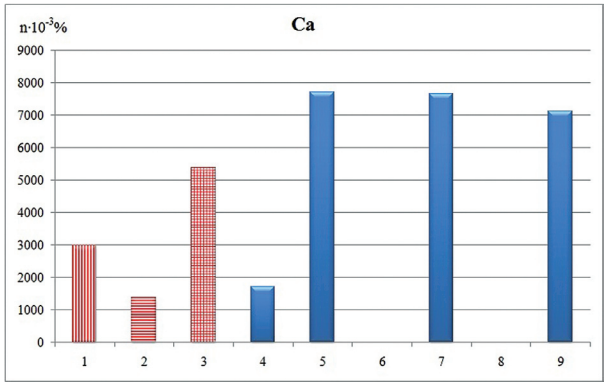


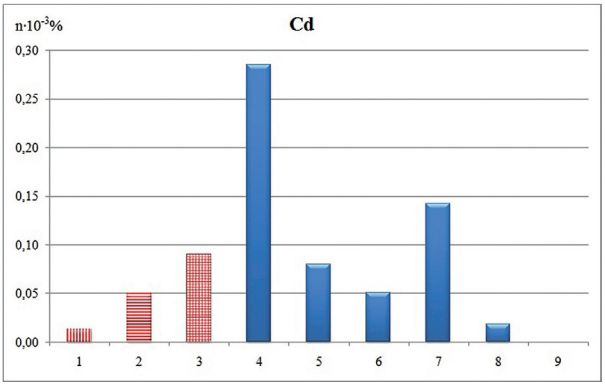


Продолжение прил. 4

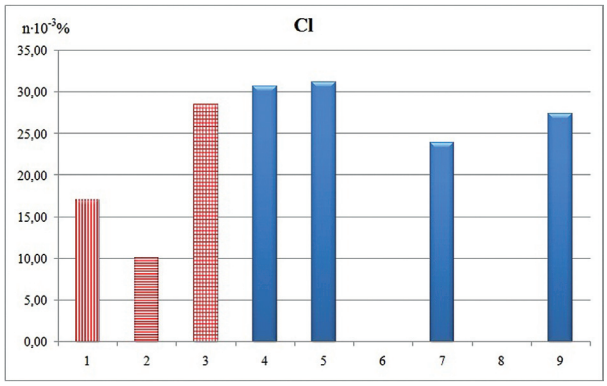


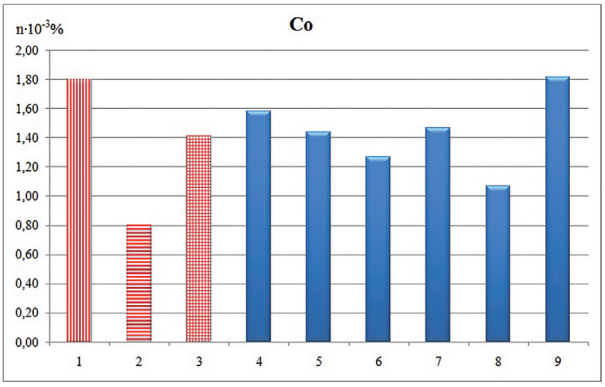


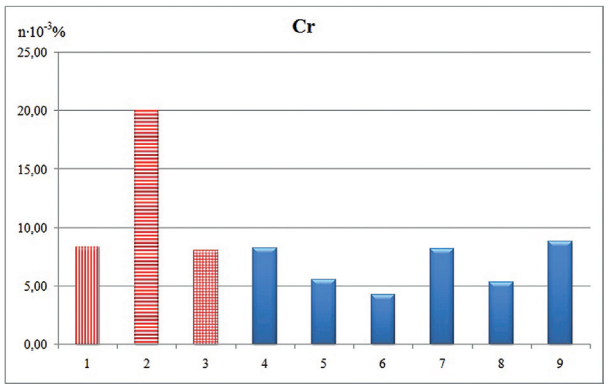


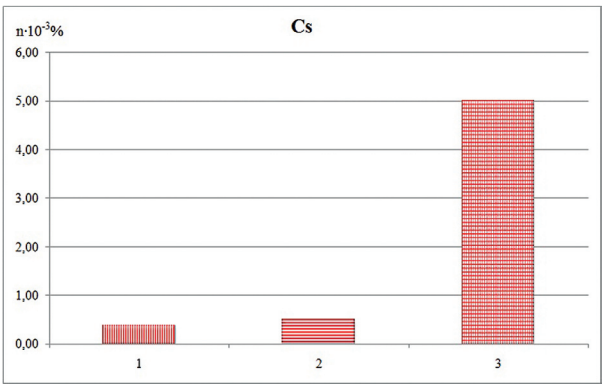


Продолжение прил. 4

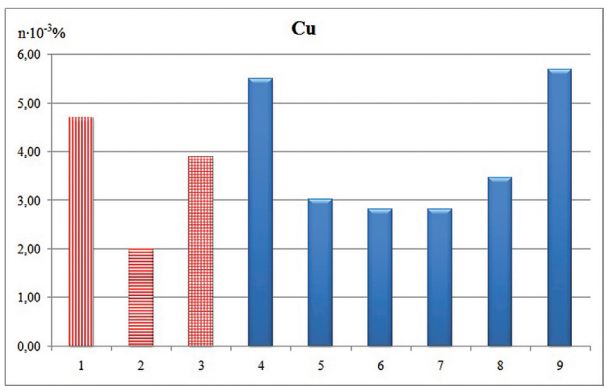


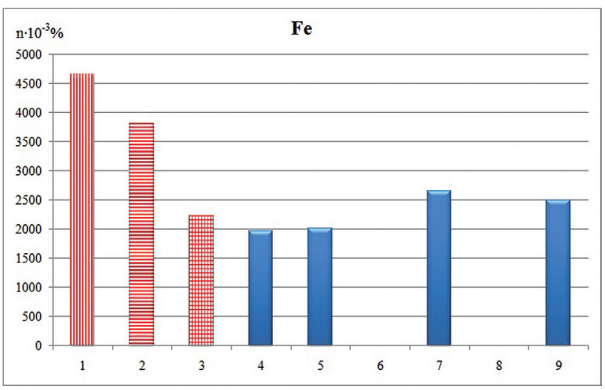


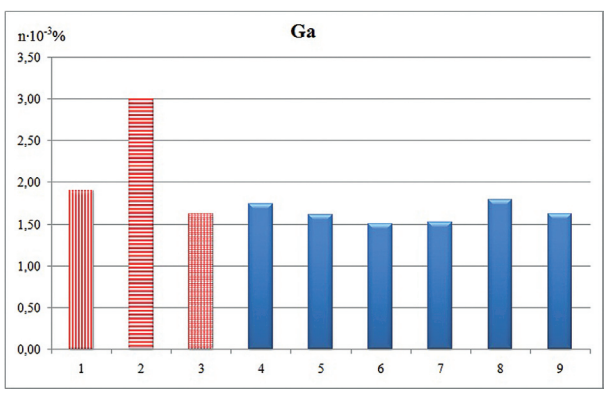


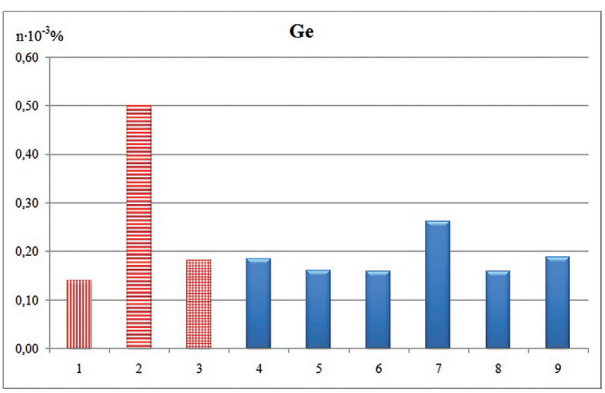


Продолжение прил. 4

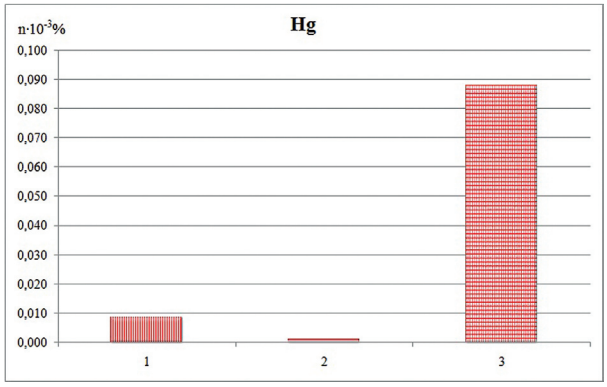


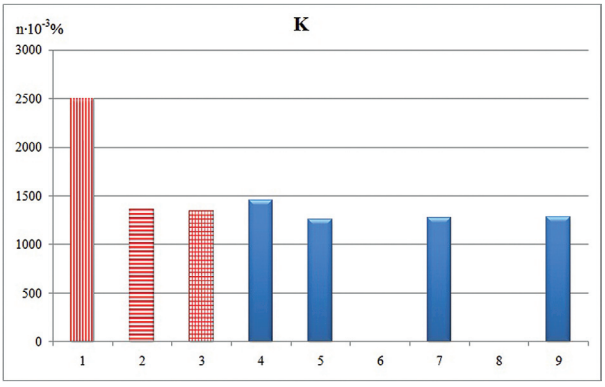


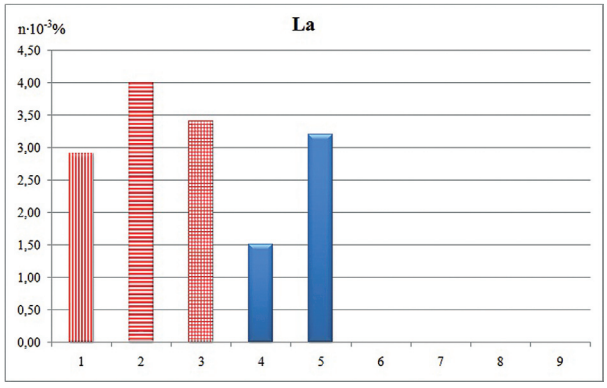


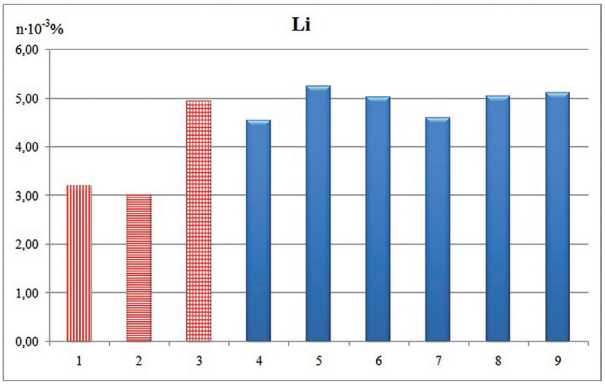


Продолжение прил. 4

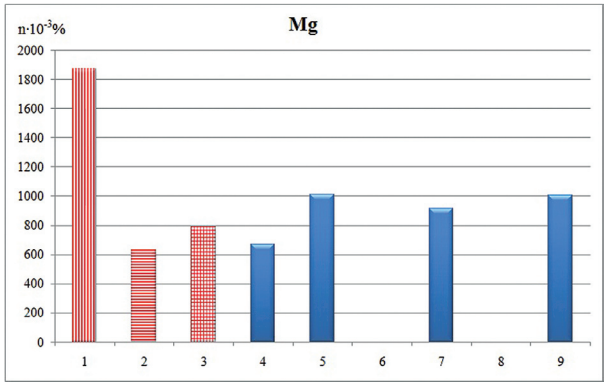


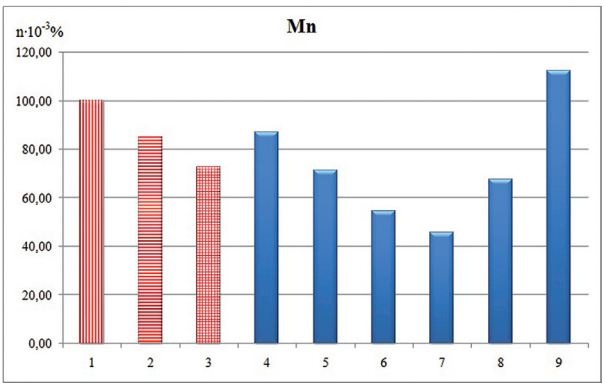


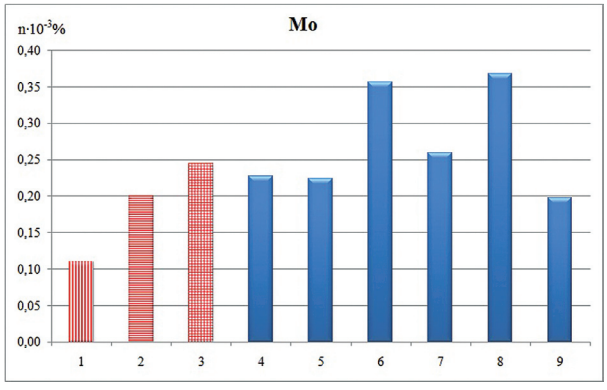


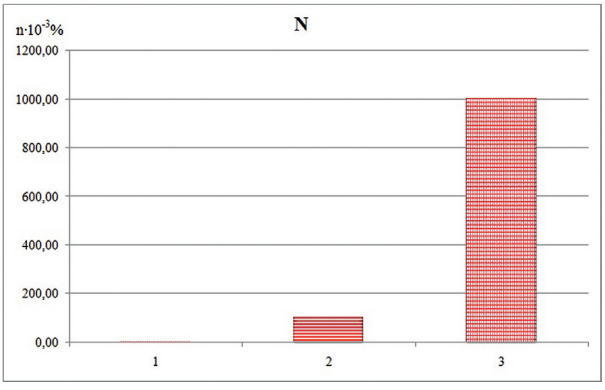


Продолжение прил. 4

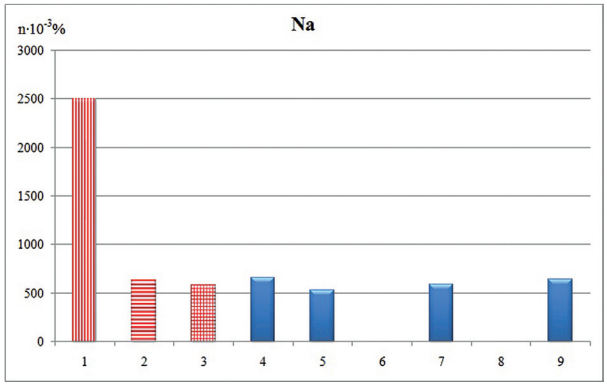


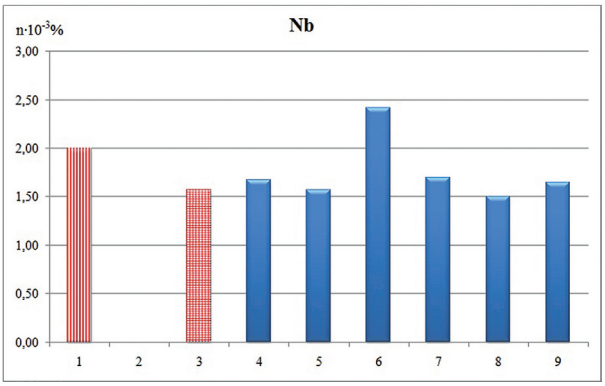


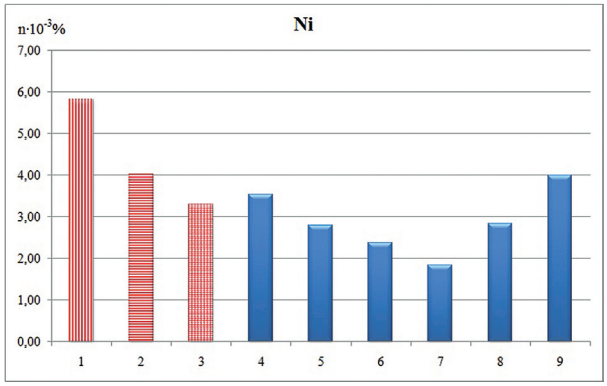


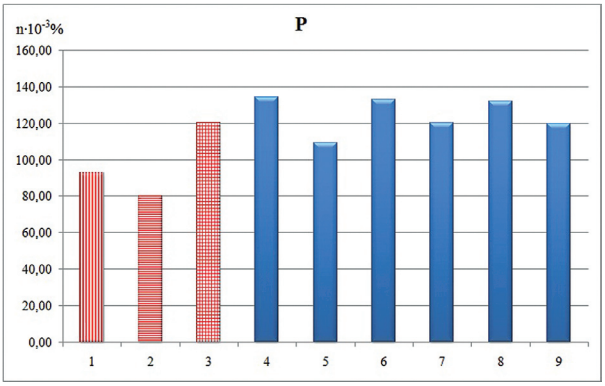


Продолжение прил. 4

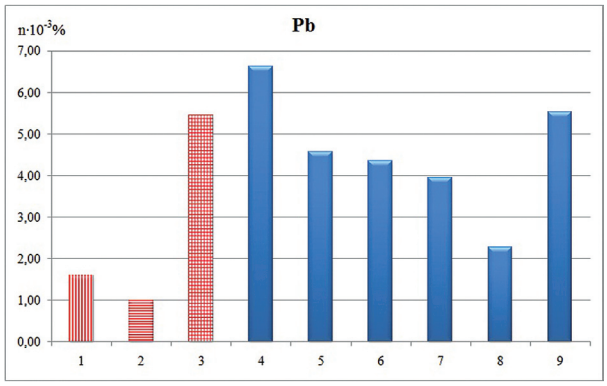


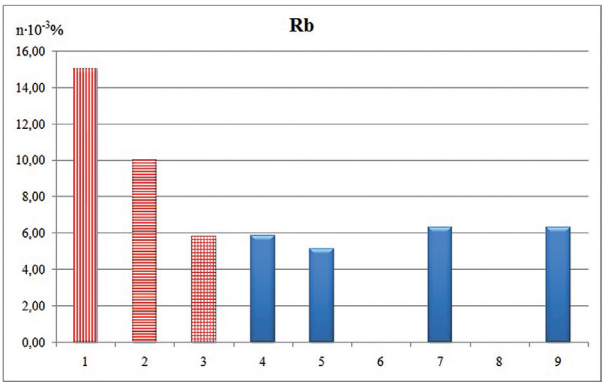


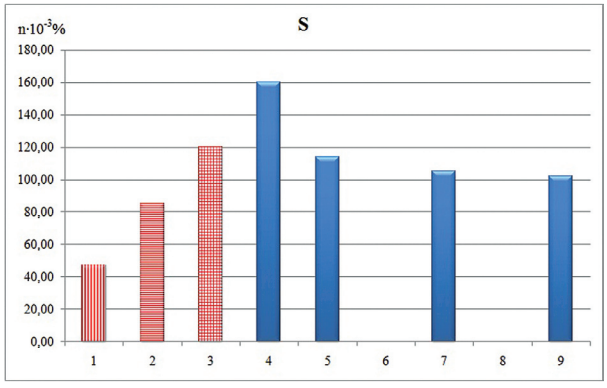


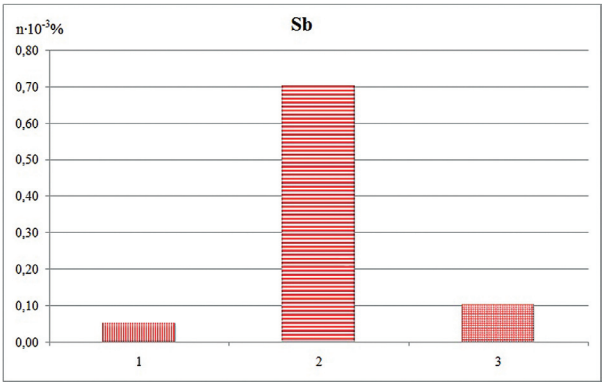


Продолжение прил. 4

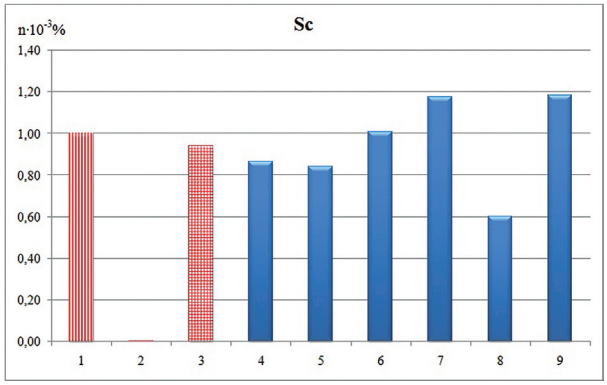


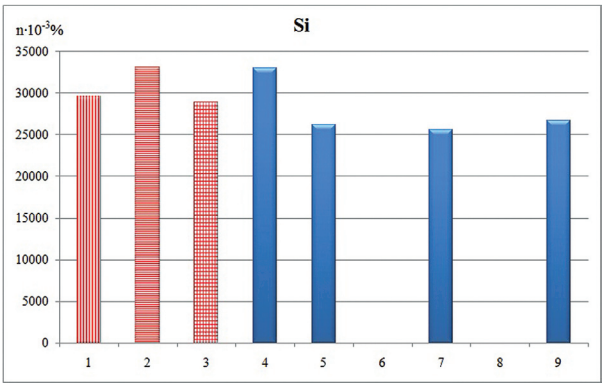


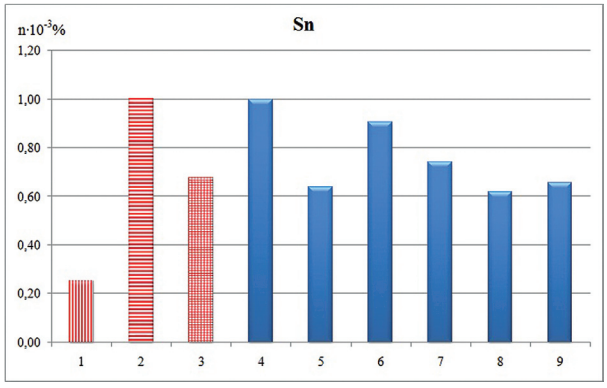


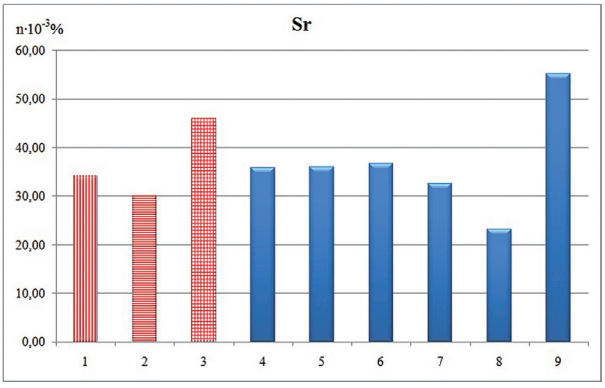


Продолжение прил. 4

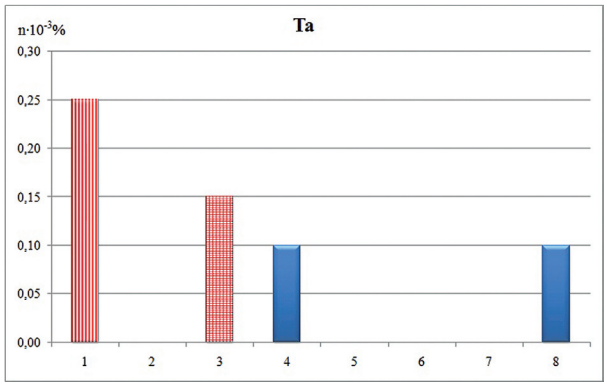


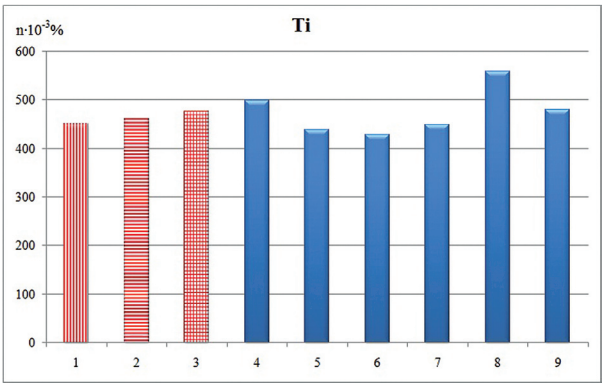


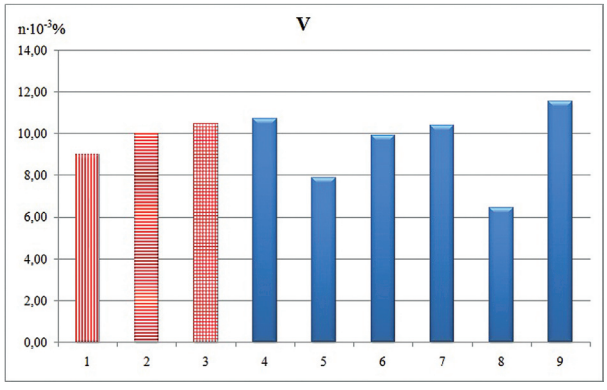


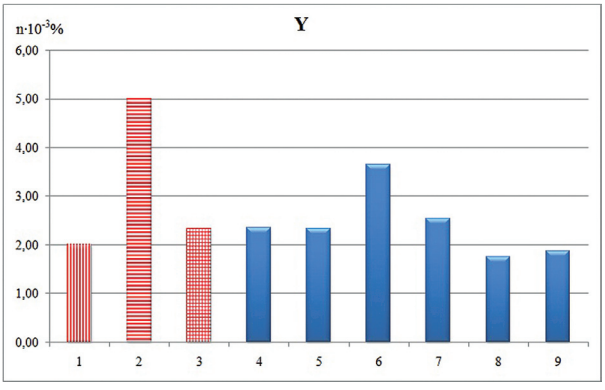


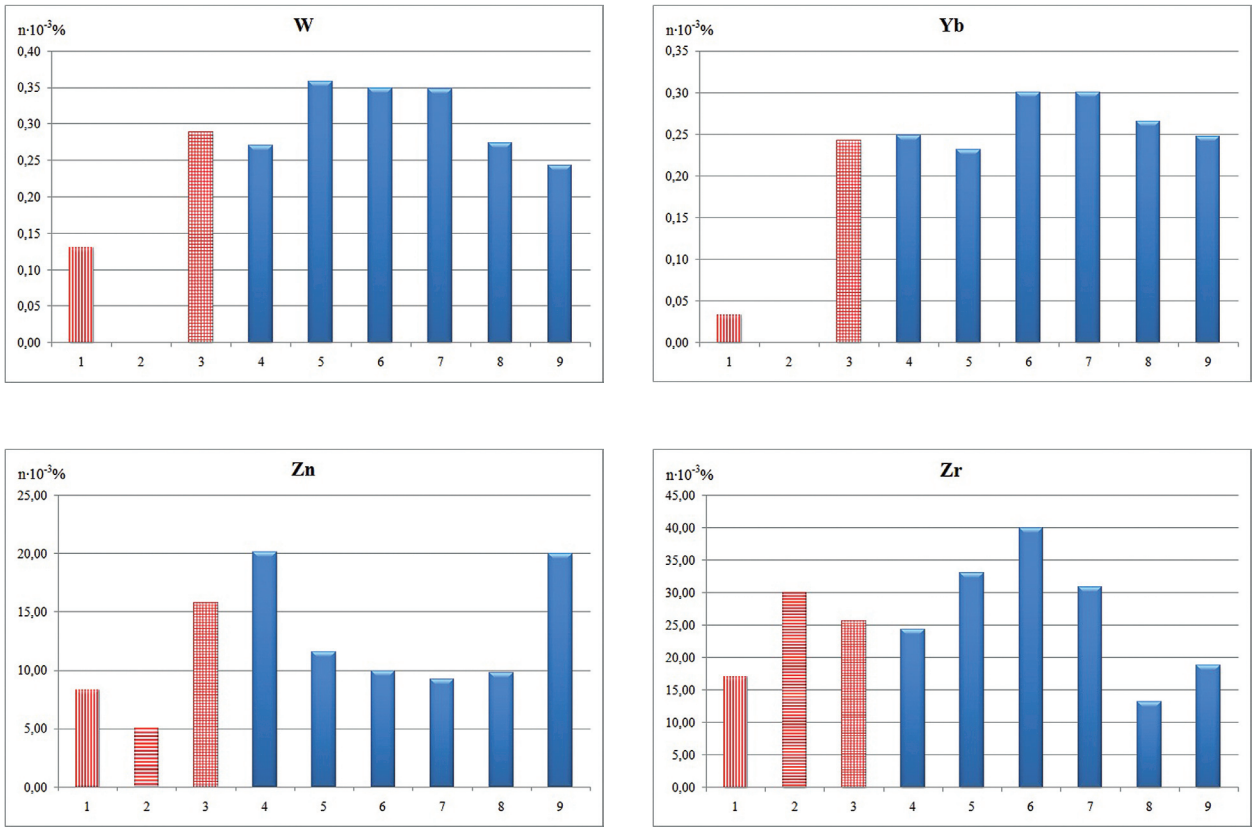
Продолжение прил. 4











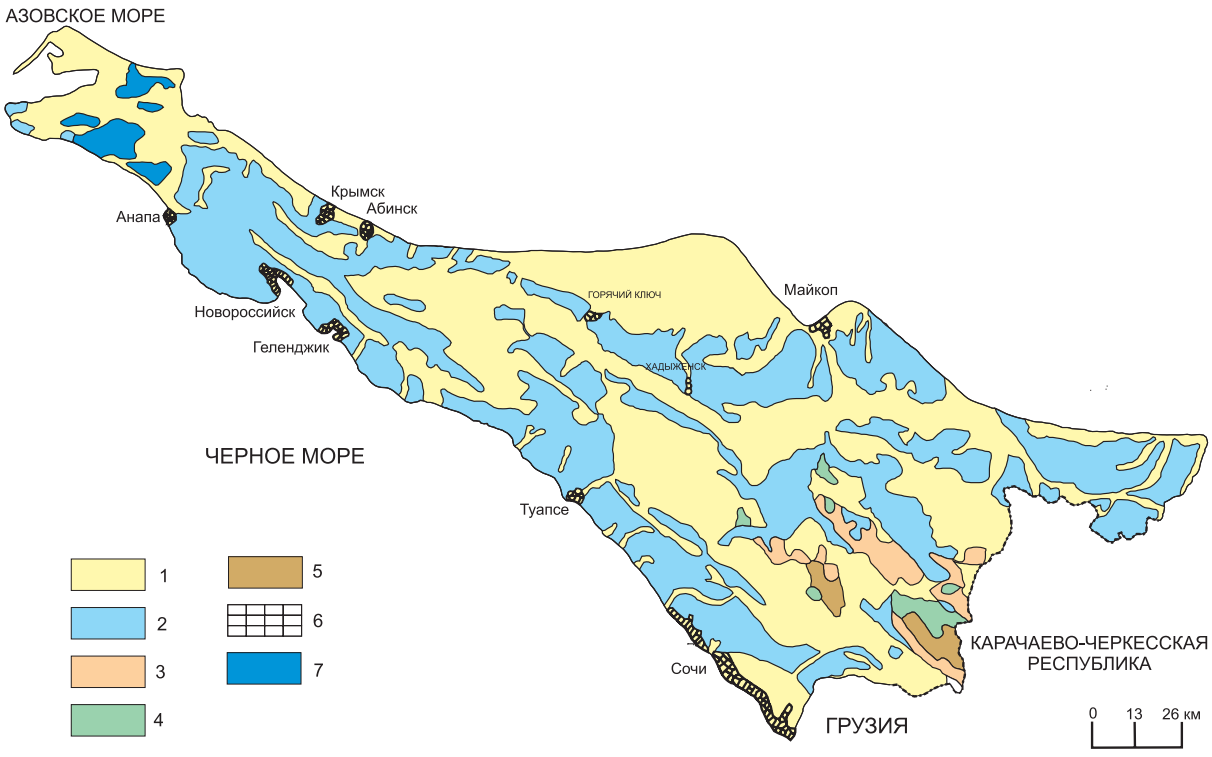


Рис. 1.1. Карта распространения основных типов горных пород Северо-Западного Кавказа:
1 – Терригенные породы; 2 – Карбонатно-терригенные породы;
3 – Терригенно-вулканогенные породы; 4 – Кислые магматические породы;
5 – Метаморфические породы; 6 – Населенные пункты; 7 – Лиманы.

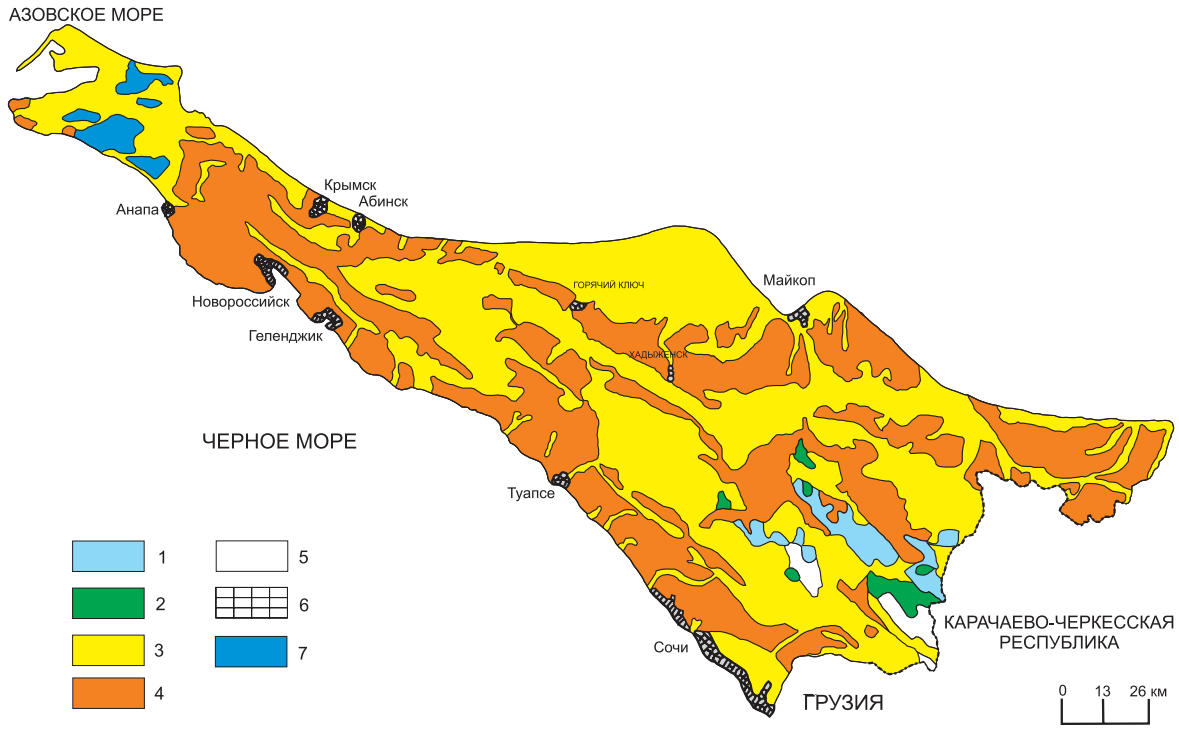


Рис. 1.2. Карта фоновых содержаний Mn в горных породах Северо-Западного Кавказа:
Фоновые содержания ($n \cdot 10^{-3}$ %):
1 – 53,0 в терригенных породах; 2 – 64,2 в кислых магматических породах; 3 – 75,6 в терригенных породах; 4 – 78,2 в карбонатно-терригенных; 5 – Достоверных данных о фоновом содержании Mn в метаморфических породах протерозойского возраста нет; 6 – Населенные пункты; 7 – Лиманы.

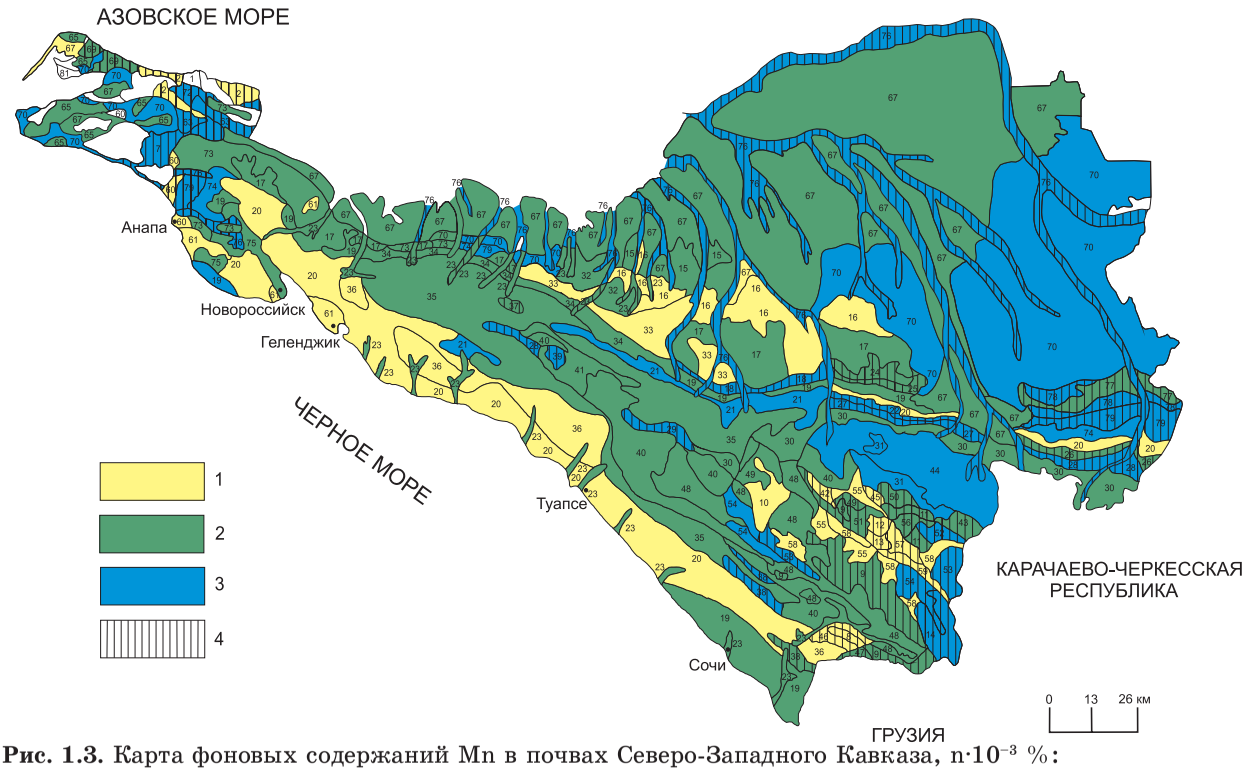


Рис. 1.3. Карта фоновых содержаний Mn в почвах Северо-Западного Кавказа, $n \cdot 10^{-3}$ %:
1 – > 114
2 – 85–114
3 – 50–84
4 – среднее содержание

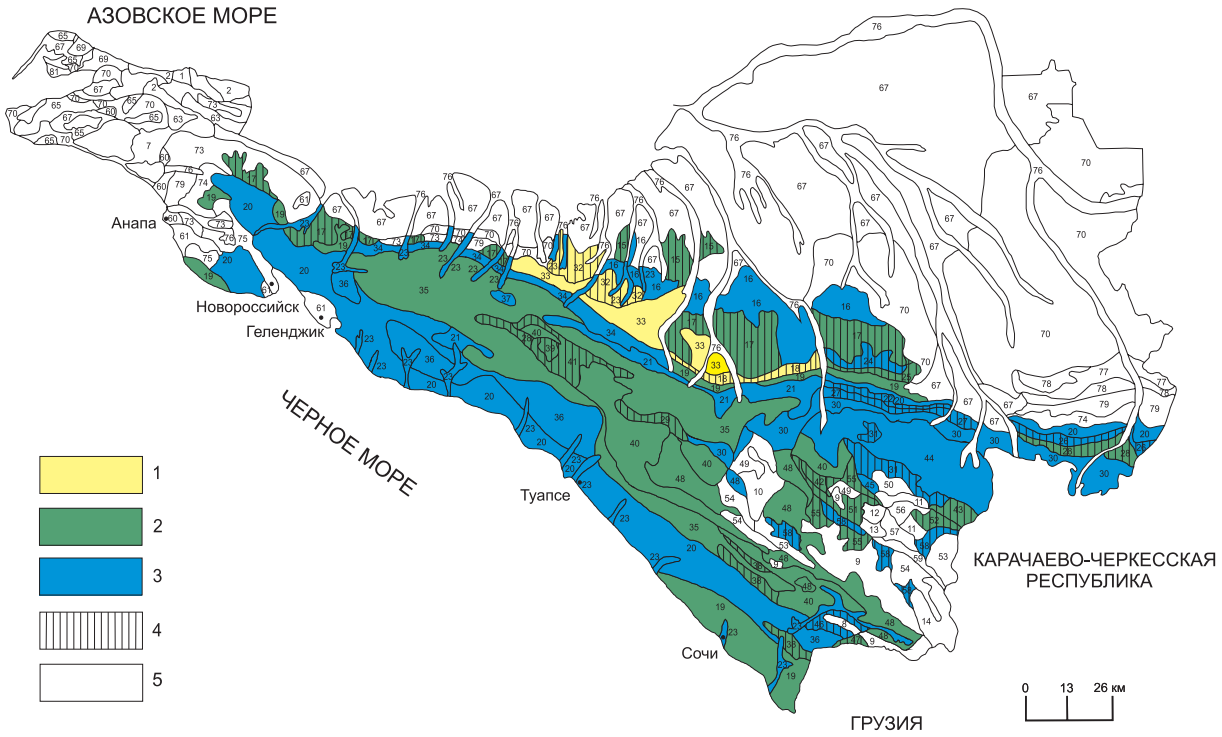


Рис. 1.4. Карта фоновых содержаний Mn в золе листьев граба, $n \cdot 10^{-3}$ %:
Условные обозначения:
1 – 725–850; 2 – 552–724;
3 – 80–551; 4 – среднее содержание элемента

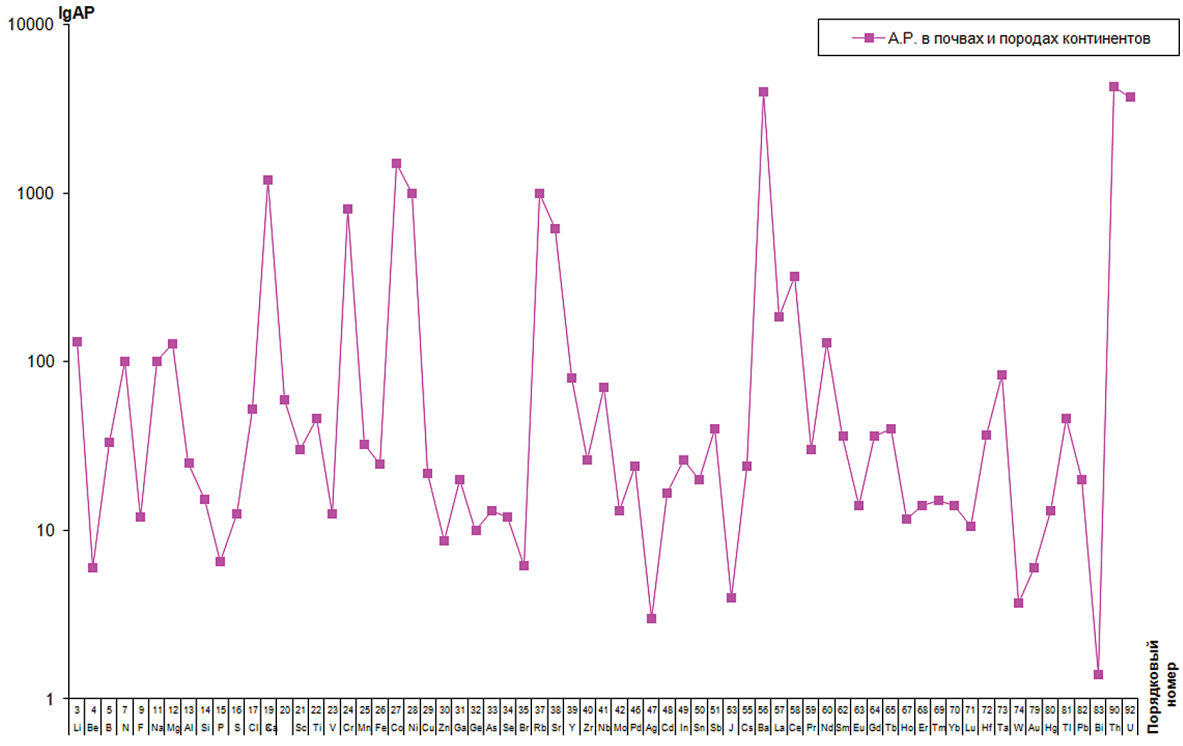


Рис. 3.2. Логарифмы величин АР в породах и почвах континентов и порядковые номера химических элементов

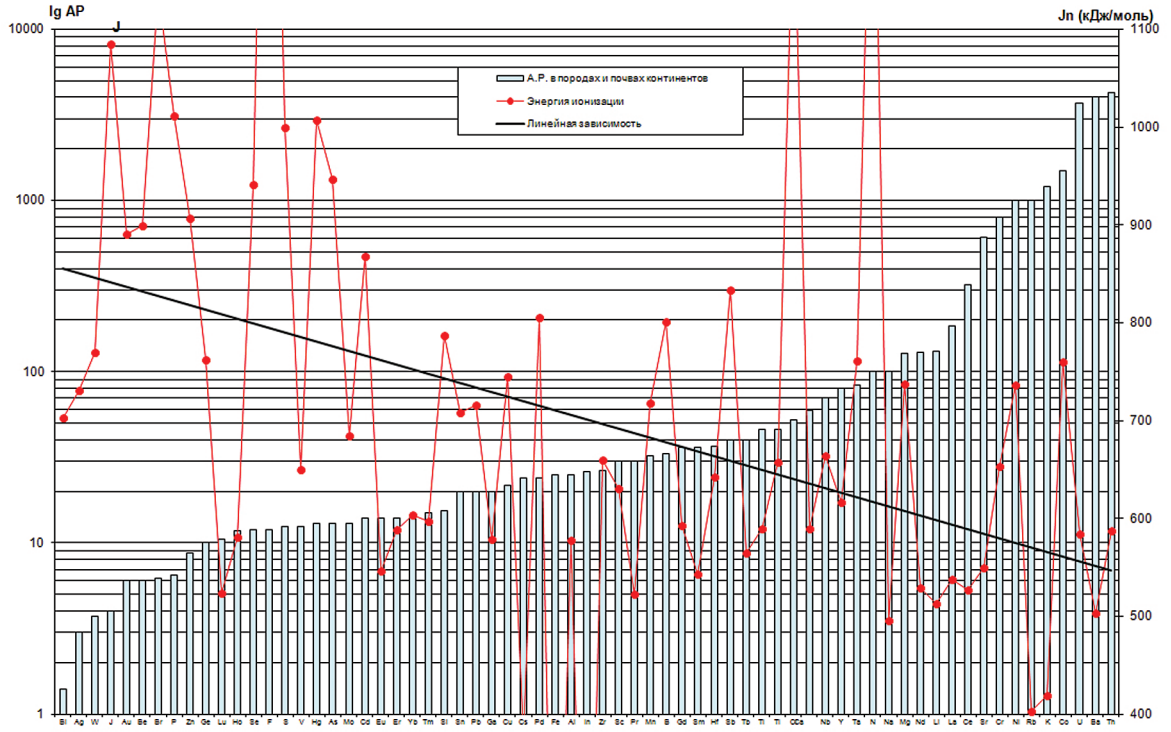


Рис. 3.3. Логарифмы значений АР в породах и почвах континентов (1), величины энергии ионизации химических элементов (2), линейная зависимость (3).

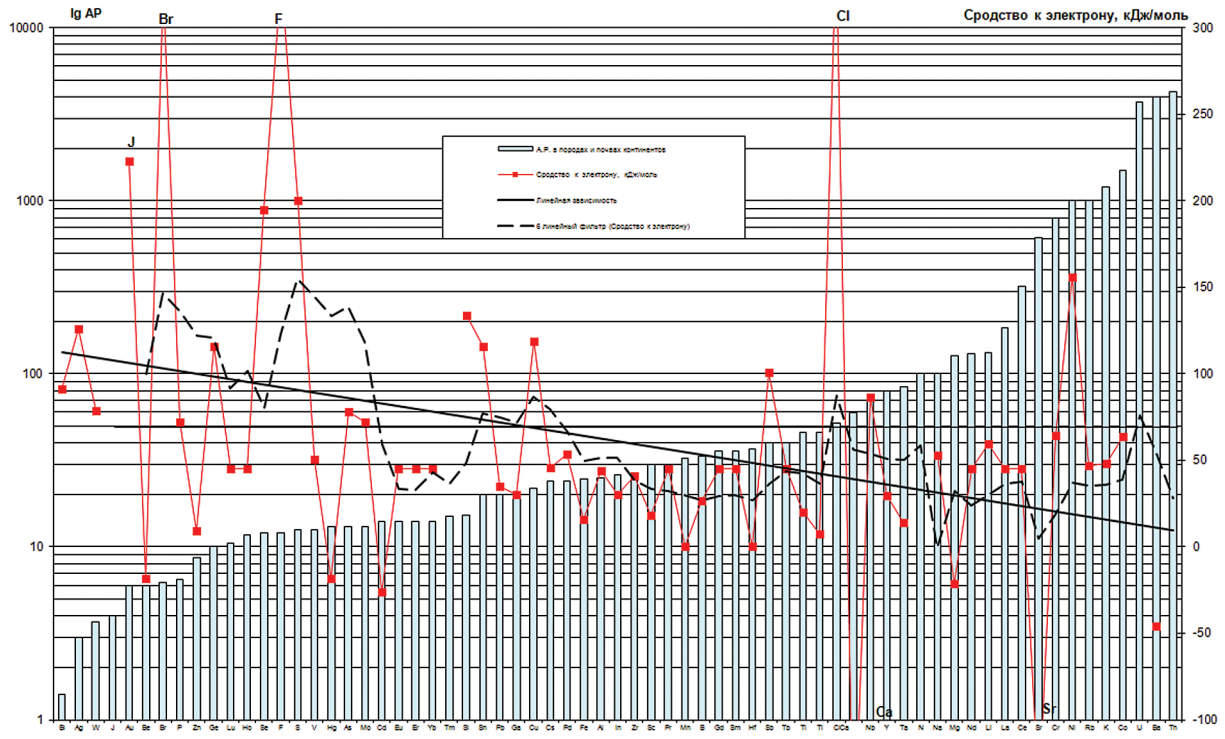


Рис. 3.4. Логарифмы значений АР в породах и почвах континентов (1) и величины значений сродства к электрону химических элементов (2), линейная зависимость (3), линейный фильтр (сродство к электрону) (4).

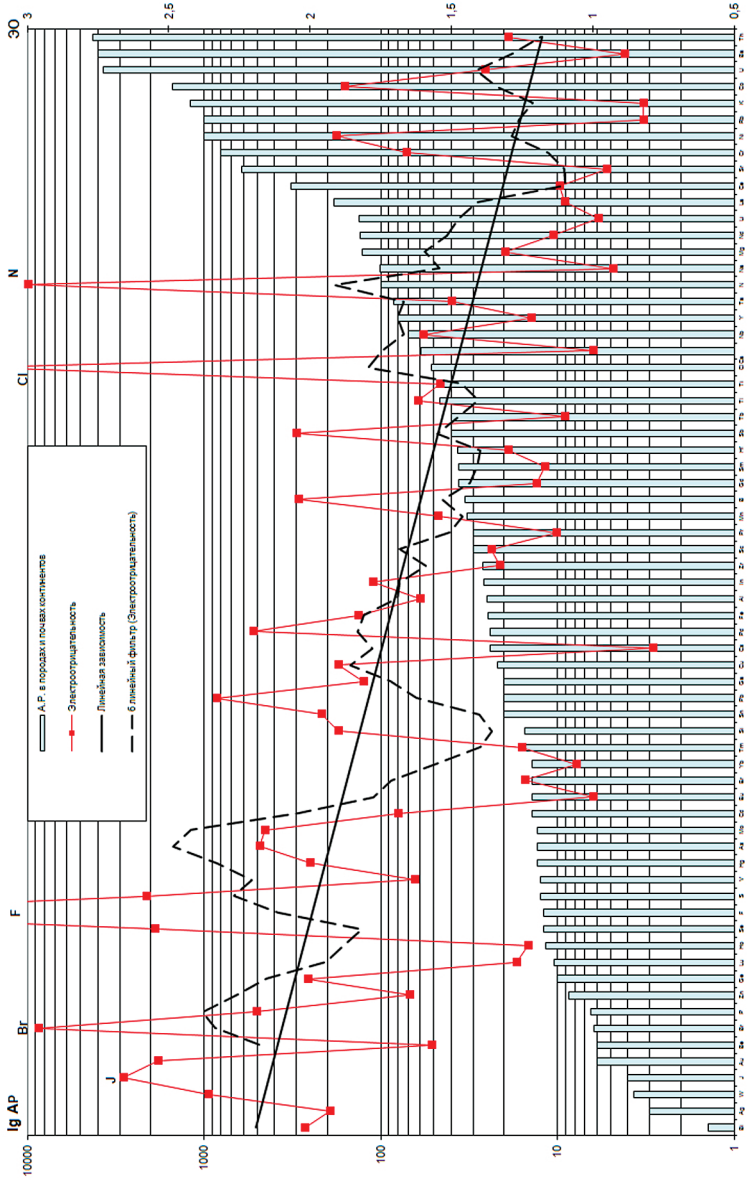


Рис. 3.5. Логарифмы значений АР в породах и почвах континентов (1), величины электроотрицательности химических элементов (2), линейная зависимость (3), линейный фильтр (электроотрицательность) (4).

Научное издание

АЛЕКСЕЕНКО Владимир Алексеевич
АЛЕКСЕЕНКО Алексей Владимирович

ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ГЕОХИМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ. КЛАРКИ ПОЧВ СЕЛИТЕБНЫХ ЛАНДШАФТОВ

Редактор *Е. В. Зацепилова*
Корректор *Е. В. Зацепилова*
Компьютерная верстка *О. В. Наскаловой*
Дизайнер обложки *А. В. Киреев*

Сдано в набор _._.2013. Подписано в печать 06.05.2013.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная. Гарнитура Школьная.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 23,03. Уч.-изд. л. 16
Тираж 5000 экз. (1-й з-д 1–500) Заказ № 2911.

Издательство Южного федерального университета

Отпечатано в типографии ЮФУ.
344090, г. Ростов-на-Дону, пр. Стачки, 200/1.
Тел. (863) 247-80-51.