

Н. А. Китаев  
В. И. Гребенщикова

# РЕДКИЕ И РУДНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЕ ПРИБАЙКАЛЬЯ (КОРЕННЫЕ ПОРОДЫ, ДОННЫЕ ОТЛОЖЕНИЯ, ПОЧВЫ)



Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Иркутский государственный университет»

Российская академия наук  
Сибирское отделение  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт геохимии им. А. П. Виноградова

**Н. А. КИТАЕВ, В. И. ГРЕБЕНЩИКОВА**

**РЕДКИЕ И РУДНЫЕ  
ЭЛЕМЕНТЫ В ОКРУЖАЮЩЕЙ  
СРЕДЕ ПРИБАЙКАЛЬЯ  
(КОРЕННЫЕ ПОРОДЫ, ДОННЫЕ  
ОТЛОЖЕНИЯ, ПОЧВЫ)**



УДК 546:552.1+552.5+531.42(571.5)  
ББК 26.30  
К45

Печатается по решению учебно-методической комиссии  
геологического факультета ИГУ

**Издание выходит в рамках Программы  
стратегического развития ФГБОУ ВПО «ИГУ»  
на 2012–2016 гг. проект Р132-ОУ-002**

**Научные редакторы:**

акад. РАН *М. И. Кузьмин*  
канд. геол.-мин. наук *Л. Д. Зорина*

**Рецензенты:**

д-р геол.-минерал. наук *А. М. Спиридонов*  
канд. геол.-минерал. наук *В. С. Бычинский*

**Китаев Н. А.**

К45

Редкие и рудные элементы в окружающей среде Прибайкалья (коренные породы, донные отложения, почвы) : монография / Н. А. Китаев, В. И. Гребенщикова. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 2014. – 123 с

**ISBN 978-5-9624-1100-2**

В работе даются сведения о фоновых, средних и максимальных содержаниях химических элементов в целом для региона, а также в структурно-формационных зонах и ландшафтных областях в окружающей среде Прибайкалья на основе мелкомасштабной эколого-геохимической съемки, проведенной по проекту «Геоэкология и геохимическое картирование России».

Приводятся в кратком виде данные по содержанию и распределению редких и рудных, в том числе токсичных химических элементов в окружающей среде Прибайкалья (коренные породы, донные отложения, почвы).

Предназначена для геологов, геохимиков, студентов геологических факультетов.

Библиогр. 50 назв. Табл. 56. Ил. 16.

УДК 546:552.1+552.5+531.42(571.5)  
ББК 26.30

ISBN 978-5-9624-1100-2

© Китаев Н. А., Гребенщикова В. И., 2014  
© ФГБОУ ВПО «ИГУ», 2014

# ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие.....	5
Введение.....	6
<b>Глава 1. РЕДКИЕ ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ.....</b>	<b>10</b>
1.1. Скандий.....	10
1.2. Ниобий.....	14
1.3. Иттрий.....	15
1.4. Иттербий.....	16
1.5. Лантан.....	16
1.6. Галлий.....	18
1.7. Литий.....	19
1.8. Цезий.....	22
1.9. Рубидий.....	22
1.10. Ассоциации редких элементов.....	25
<b>Глава 2. РУДНЫЕ И ТОКСИЧНЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ... 31</b>	<b>31</b>
2.1. Уран.....	31
2.2. Торий.....	35
2.3. <sup>137</sup> Цезий.....	35
2.4. Цирконий.....	36
2.5. Ртуть.....	36
2.6. Фтор.....	40
2.7. Свинец.....	43
2.8. Бериллий.....	46
2.9. Цинк.....	49
2.10. Медь.....	50
2.11. Никель.....	53
2.12. Кобальт.....	56
2.13. Хром.....	56
2.14. Молибден.....	57
2.15. Бор.....	62
2.16. Ванадий.....	62
2.17. Стронций.....	68
2.18. Марганец.....	70
2.19. Золото.....	71
2.20. Олово.....	72
2.21. Серебро.....	72

Глава 3. ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКСИЧНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ ПРИБАЙКАЛЬЯ.....	73
3.1. Ассоциации токсичных химических элементов .....	73
3.2. Особенности распределения токсичных химических элементов в почвах на площадях различных структурно-формационных зон .....	76
3.3. Особенности распределения токсичных химических элементов в почвах различных ландшафтных областей .....	85
3.4. Особенности миграции токсичных химических элементов в почвах Прибайкалья.....	91
Глава 4. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЧВ ЮЖНОГО ПРИБАЙКАЛЬЯ.....	105
4.1. Состав и соотношение окислов в почвах.....	105
4.2. Органический углерод в почвах .....	113
4.3. Пространственное распределение окислов силикатов и углерода.....	115
Заключение .....	117
Список литературы .....	120

## Предисловие

Настоящая книга посвящается светлой памяти рано ушедшего из жизни талантливого ученого доктора геолого-минералогических наук Павла Владимировича Коваля. Павел Владимирович был инициатором постановки международной программы «Геоэкология и геохимическое картирование России» на основе мелкомасштабной (1:1 000 000) эколого-геохимической съемки, активным исполнителем и руководителем ее реализации на Байкальском геоэкологическом полигоне. Его разработки внесли существенный вклад в теорию и практику геохимического изучения и защиты окружающей среды и взяты на вооружение его учениками и последователями.

Монография Н. А. Китаева и В. И. Гребенщиковой актуальна и, безусловно, имеет важное значение как в научном, так и в практическом отношении. Ее достоинством является комплексный подход к решению поднятой проблемы с использованием богатейшего геолого-геохимического и аналитического материала, полученного авторами с коллегами в процессе исследований на Байкальском геоэкологическом полигоне под руководством П. В. Коваля.

Авторами изучены закономерности распределения 9 редких элементов (Sc, Nb, Y, Yb, La, Ga, Li, Cs, Rb), 21 рудного (в том числе и токсичных) элемента (U, Th,  $^{137}\text{Cs}$ , Zr, Hg, F, Pb, Be, Zn, Cu, Ni, Co, Cr, Mo, B, V, Sr, Mn, Au, Sn, Ag), породообразующих окислов и углерода в коренных породах, донных отложениях, почвах в 12 структурно-формационных зонах (СФЗ) и в 9 ландшафтно-геохимических зонах Прибайкалья с использованием математических методов обработки геохимического и аналитического материала.

На основе полученных результатов определена геолого-геохимическая специфика территории Байкальского полигона. По сравнению со средним составом земной коры континентов [Тейлор, 1998] поверхностный слой коры Байкальского полигона имеет повышенные содержания Cr, Ni, Ga, В. На полигоне преобладают породы с лито-сидерофильной и сидеро-лито-халькофильной специализацией. Все редкие элементы образуют в пространстве следующие ассоциации, названные по максимальным коэффициентам контрастности (КК): в коренных породах фиксируется литиевая, рубидиевая, иттриевая, иттербиевая, лантановая, галлиевая и фоновая, в донных отложениях – рубидиевая, иттриевая, иттербиевая и фоновая, в почвах – рубидиевая и фоновая.

В целом монография Н. А. Китаева и В. И. Гребенщиковой «Редкие и рудные элементы в окружающей среде Прибайкалья (коренные породы, донные отложения, почвы)» является ценным информативным руководством в вопросах исследования и защиты окружающей среды при поисках месторождений полезных ископаемых, воздействия на нее промышленных предприятий и хозяйственной деятельности человека. Она ориентирована на геологов, геохимиков, почвоведов, студентов и преподавателей вузов.

Научные редакторы  
академик РАН М. И. Кузьмин  
кандидат геол.-минерал. наук Л. Д. Зорина  
ИГХ СО РАН

## Введение

Данные о распределении редких и рудных химических элементов на большой территории Южного Прибайкалья (Байкальский геоэкологический полигон) в различных компонентах окружающей среды получены на основе мелкомасштабной (1:1 000 000) эколого-геохимической съемки, осуществлявшейся по проекту «Геоэкология и геохимическое картирование России» [Коваль, Кузьмин, 1994]. В настоящей работе приведены основные результаты этих опытно-производственных и научно-исследовательских работ, характеризующие, главным образом, конкретные данные по содержаниям химических элементов в целом по региону, по отдельным структурно-формационным зонам и ландшафтными областям, в сравнении с кларками этих элементов.

Байкальский геоэкологический полигон [Геохимия окружающей среды ... , 2008; Распределение радиоактивных элементов ..., 2009, 2010] включает оз. Байкал и прилегающую к нему площадь с запада и менее значительную – с востока, занимает территорию порядка 140 тыс. кв. км, из которых 31,5 тыс. кв. км приходится на акваторию озера и прилегающих бассейнов крупных рек Селенги, Ангары и Лены (рис. 1).

Территория Южного Прибайкалья расположена в пределах юго-восточной части Сибирского плоскогорья, на стыке двух крупных структурных элементов земной коры: Сибирской платформы и ее складчатого обрамления – с востока Приморским и Байкальским хребтами, с юго-запада – Восточным Саяном. Эти структурные подразделения резко различаются по своему строению и составу [Атлас Иркутской области, 1962; Геологическая карта, 1981, 1982, 1984, 1986; Карта геохимической специализации ..., 1994]. Платформенная часть сложена преимущественно осадочными породами кембрийского и юрского возраста: карбонатными породами (известняки, доломиты) в Прибайкальской впадине и в подножиях Восточного Саяна; красноцветными карбонатно-силикатными отложениями (песчаники, аргиллиты, алевролиты) на Ленско-Ангарском плато и Прибайкальской впадине; юрскими песчаниками, алевролитами, сланцами и конгломератами на междуречных пространствах Иркутско-Черемховской равнины и ее речных долинах.

Складчатая область сложена преимущественно кислыми магматическими и метаморфическими породами от архейского до кайнозойского возраста. Исследования последних лет показали, что, несмотря на различие состава чехла Сибирской платформы и ее складчатого обрамления, отмечаются сквозные формации, проявившиеся в обеих структурах. В частности, к ним относятся специализированные на золото вендские конгломераты и породы мезозойской терригенной формации. В связи с резким различием в строении двух геотектонических структур их металлогеническая специализация также различается.







Байкальский полигон  
Масштаб 1: 2 500 000



Рис. 2. Схема структурно-тектонического и ландшафтно-геохимического районирования территории Южного Прибайкалья

1 – структурно-формационные зоны: I – Ангаро-Ленская (1а – Ленская подзона (карбонатно-глинистые (R), карбонатно-галогенно-гипсоносные и алевролит-песчаниковые отложения (V – Pz)); 1б – Юрский угленосный бассейн (алевролиты, конгломераты, песчаники, угли)); II – Присяянская (гнейсы, амфиболиты, кристаллосланцы, вулканогенно-карбонатно-терригенная и гранитоидная формация (AR – PR)); III – Прибайкальская (гнейсы, кристаллосланцы, кварциты и мигматит-граниты (PR), рапакивиоподобные граниты, граносиениты, лейкограниты (PR); алевролиты, песчаники (R); карбонатные породы (R); флишоидная сланцево-алевролитопесчаниковая толща (R)); IV – Байкальская (мраморы, гнейсы, кристаллосланцы, амфиболиты (AR – PR), гранитоидные породы (O – P)); IX – Хамар-Дабанская (кристаллосланцы, гнейсы, карбонатные отложения, кварциты, габброиды, мигматиты, граниты (AR – PR), песчаники, сланцы, доломиты, известняки, гнейсы, гранит-гранодиоритовый комплекс (R); перидотит-габбровая, габбро-сиенит-гранитная и лейкогранитная формации (Pz – Pz)); XI – Удино-Витимская (карбонатные, кремнистые, песчаниковые углеродсодержащие отложения (R), интрузивные породы «пестрого» состава (Pz), песчано-конгломератовые и глинисто-песчаниковые угленосные отложения (Mz)); XII – Джида-Витимская (гнейсы и кристаллосланцы (PR), известково-кремнисто-песчаниковая углеродистая толща (R), гранитоидная формация (R), перидотит-габбровая (Pz), гранит-гранодиоритовая (Pz), туфогенно-вулканогенные породы (P), трахилипарит-трахибазальтовая формация (J), лейкограниты (J), конгломерато-глинисто-песчаниковые угленосные отложения (K)).

2–8 – ландшафтные зоны: 2 – Байкало-Джугджурская и Восточно-Саянские гольцовые (горно-тундровые), 3 – Байкало-Джугджурские горно-таежные, 4 – Южно-Сибирские горно-таежные (сосновые с примесью лиственных), 5 – Средне-Сибирские равнинно-платообразные, таежные, 6 – Южно-Сибирские подгорные, лесостепные (ангарская лесостепь), 7 – Западно-Забайкальские даурские степи, 8 – Онон-Аргунские степи высоких равнин и денудационных плато, 9 – контур Байкальского полигона.

Номера СФЗ V–VIII, X находятся за пределами изученной площади.

Все пробы анализировались следующими методами:

- количественным рентгено-спектральным силикатным анализом на  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , S, Ba+Cl, Sr, Zr, Nb в Институте геохимии СО РАН;

- количественным химическим анализом на органический углерод в Институте геохимии СО РАН;

- количественным высокочувствительным атомно-абсорбционным методом на золото на приборе «Перкин-Эльмер-503» с импульсным графитовым атомизатором «HGa-72». Определения проводились из навески 1 г, предел обнаружения 0,2 мг/т, стандартное отклонение составляет 0,16–0,03 для содержания золота 20–0,2 мг/т. Сопоставление метода с пробирным, нейтронно-активационным и химико-спектральными методами свидетельствует об отсутствии систематической погрешности [Меньшиков, Хлебникова, Цыханский, 1972]. Анализ проводился в Институте геохимии СО РАН;

- рентгено-радиометрическим методом определения ртути (ГПП «Сосновгеология»), предел обнаружения  $0,2 \times 10^{-6} \%$ ;

- гамма-спектрометрическим методом определялись U, Th, K,  $^{137}\text{Cs}$  в лаборатории ПГО «Сосновгеология» на низкофоновой установке с NaS-детектором, активированным таллием размером  $200 \times 200$  мм с колдцем диаметром 70 и глубиной 100 мм. Внутрिलाбораторная ошибка воспроизводимости анализа составила от 0,5 до 4–5 %. В интервале содержаний  $> 10^{-9}$  Ки/кг она не превышала 2–3 %. Систематическое относительное отклонение основного анализа от результатов контрольных измерений, выполненных в лаборатории Ф. В. Сухорукова (ОИГГМ СО РАН, Новосибирск), составила 1,15, средняя случайная ошибка – 1,45. Предел обнаружения: U –  $2 \times 10^{-5} \%$ ; Th –  $3 \times 10^{-5} \%$ ; K –  $3 \times 10^{-2} \%$ ;  $^{137}\text{Cs}$  –  $10^{-10}$  Ки/кг;

- количественным спектральным анализом F, Li, Rb, Cs в ГПП «Иркутскгеология». Предел обнаружения: F – 0,02 %; Li –  $10^{-4} \%$ ; Rb –  $1,2 \times 10^{-3} \%$ ; Cs –  $0,3 \times 10^{-3} \%$ ;

- приближенно-количественным спектральным и гамма-спектральным анализом методом просыпки на спектрографе ДФС-18 (АЭСА) в лабораториях ГПП «Иркутскгеология» (с контролем в Институте геохимии СО РАН) на большую группу элементов (около 50). Предел обнаружения при анализе составил ( $\% \times 10^{-3}$ ): K – 300, Na, Ce, P – 30, Ca, Ba, Sr, As, Ta, F – 10, La, Cd, Zn, Hf – 3, Sb – 2, Zr, Ti, Li, Mn, W, B – 1, Cr, Sc, V, Y, Nb – 0,6 Co, Fe, Al, Cs, Pb, Ga, Mg, Si, Rb – 0,3, Sn, Bi – 0,2, Cu, Be, Mo, Ge – 0,1.

# Глава 1

## РЕДКИЕ ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

### 1.1. Скандий

Наиболее высокие содержания редкого элемента – скандия свойственны основным породам (кларк 24 мг/кг), для кислых и осадочных пород он составляет 3–10 мг/кг, для почв – 7 мг/кг [Справочник по геохимии, 1990; Тейлор, Мак-Леннан, 1998]. Содержание этого элемента в почвах определяется преимущественно почвообразующими породами. Наименьшие концентрации скандия установлены в песчаных и легких органических почвах, а также в почвах, содержащих органическое вещество, наиболее высокие содержания – в почвах, развитых на гранитах и вулканических породах. Пределы колебаний и средние содержания скандия<sup>1</sup> в почвах следующие (мг/кг): разные страны 0,5–45, неокультуренные почвы – 7,1, окультуренные почвы – 5,1 [Брукс, 1986].

Среднее содержание скандия в окружающей среде Прибайкалья составляет (мг/кг): 10,1 в коренных породах, 12,6 – в донных отложениях, 11,4–13,0 (11,9) в почвах (табл. 1.1) [Китаев, Гребенщикова, 2011]. Как видно, содержания этого элемента в Прибайкалье находятся в пределах кларков для кислых и осадочных пород, лишь незначительно их превышая, а в почвах – превышают кларк на три порядка.

Параметры распределения рудных элементов в структурно-формационных зонах (СФЗ) показаны в табл. 1.2. Наиболее высокие содержания скандия фиксируются в аллювиальных почвах гор. А (далее гор. А), в мг/кг – в Присянской (13,3), а наиболее низкие – в Удино-Витимской СФЗ (9,5), в делювиальных почвах гор. А наиболее высокие – в Присянской СФЗ (11,7), а наиболее низкие – в Прибайкальской (9,9), в делювиальных почвах горизонта В (далее гор. В), наиболее высокие в Прибайкальской (13,1) и Хамар-Дабанской (22,6), а наиболее низкие – в Присянской СФЗ (8,6).

Значительные содержания скандия фиксируются (в мг/кг): в Средне-Сибирской равнинно-плоскогорной, таежной ландшафтной области: в аллювиальных почвах гор. А (14,2), в делювиальных почвах гор. А (12,9) и гор. В (16,6) (табл. 1.3).

Распределение содержаний скандия на площади Байкальского полигона характеризуется следующими особенностями (рис. 1.1). Геохи-

---

<sup>1</sup> Здесь и далее содержания химических элементов в почвах разных стран даются по Кабата Пендиас, Х. Пендиас (1989), а кларки – по А. П. Виноградову (1957) и Справочнику по геохимии (1990).

мические поля с максимальными концентрациями этого элемента (в коренных породах до 500 мг/кг и донных отложениях – до 30 мг/кг) и большими площадными размерами фиксируются в западной прибрежной части оз. Байкал (преимущественно на площади Прибайкальской СФЗ), в западной части полигона (Присянская СФЗ), где развиты магматогенные и метаморфогенные породы, а также на левобережье р. Ангары, от г. Черемхово до оз. Байкал и на правобережье низовья р. Селенги. На остальной территории полигона (преимущественно Сибирской платформе) содержания этого элемента составляют 3–10, реже до 12 мг/кг (1,5 фона), при этом минимальные содержания (0–10 мг/кг) фиксируются на площади в виде изолированных пятен в северной части полигона, между Братским водохранилищем и поселками Качуг и Усть-Ордынский, а также по левобережью р. Ангары. Наиболее высокие средние содержания скандия в почвах (13–30 мг/кг и более) и их распределение аналогичны распределению в донных отложениях и характерны для горных районов Прибайкальской и Присянской СФЗ. Минимальные содержания в почвах составляют от 7–10 до 13 мг/кг. Величины концентраций и характер распределения скандия в почвах аллювиальных и делювиальных отложений преимущественно аналогичны. Можно предполагать, что ореолы с наиболее высокими содержаниями скандия обусловлены присутствием его в гранитных пегматитах, а менее контрастные – залежами каменных углей.

Таблица 1.1

Средние содержания редких и рассеянных химических элементов в различных компонентах окружающей среды (Au – мг/т, остальные элементы – мг/кг)

Хим. элементы	Коренные породы (870 проб)	П о ч в ы (711 проб)			Донные отложения (969 проб)	Кс*	
		Аллювиальные, гор. А	Делювиальные, гор. А	Делювиальные, гор. В		п/к	д/п
Sc	10,1	11,4	11,4	13,0	12,6	1,1	1,1
Ga	15,9	10,0	10,3	10,4	10,5	0,6	1,0
Y	22,5	35,5	37,4	38,8	40,8	1,5	1,1
Yb	3,1	3,9	4,0	4,0	4,4	1,2	1,2
La	35,2	27,8	30,0	29,8	42,0	0,8	1,4
Li	26,7	17,3	16,8	17,5	16,8	0,6	0,9
Rb	38,7	40,5	39,9	24,9	53,1	0,9	1,5
Cs	6,2	4,5	3,6	9,6	6,8	0,9	1,1
Zr	258,9	35,8	39,1	36,0	42,5		
Nb	15,0	13,2	14,1	14,9	15,5		
Au	1,3	1,0	1,4	2,4	8,5	1,2	5,3
Sn	2,9	2,5	2,4	2,4	2,8	0,9	1,2
Mo	8,3	3,8	3,5	3,2	4,3	0,4	1,2

\* Кс – коэффициент соответствия – частное от деления содержания элементов в почвах и коренных породах (п/к – первая система) и частное от деления средних содержаний в донных отложениях и почвах (д/п – вторая система).

Таблица 1.2

Параметры распределения редких и рассеянных химических элементов в почвах различных структурно-формационных зон (мг/кг)

Структурно-формационная зона	Содержание	n	Скандий (Sc)			Иттербий (Yb)			Литий (Li)			Лантан (La)			Рубидий (Rb)			Галлий (Ga)		
			A <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>
Ангаро-Ленская Ленская подзона	max	35	20,0	20,0	30,0	5,0	6,0	6,0	50,0	100,	80,0	40,0	40,0	400,	150,	150,	150	20,0	20,0	27,0
	min		3,0	8,0	3,0	1,0	1,0	1,0	5,0	05,0	10,0	15,0	15,0	0	0	0	1,5	6,0	6,0	3,0
	с		10,3	11,6	10,2	3,4	3,7	3,8	20,3	20,2	16,7	26,0	26,0	15,0	1,5	1,5	9,7	10,4	10,0	10,3
Юрский угленосный бассейн	max	14	20,0	20,0	40,0	5,0	5,0	5,0	30,0	30,0	40,0	40,0	40,0	40,0	150,	80,0	20,0	15,0	15,0	15,0
	min		6,0	8,0	3,0	3,0	3,0	1,0	5,0	10,0	5,0	15,0	15,0	15,0	0	1,5	1,5	6,0	10,0	3,0
	с		11,6	11,6	9,4	4,1	4,0	3,1	18,9	18,6	15,9	25,0	26,0	24,0	1,5	2,1	26,7	6,1	10,1	10,0
Присяянская	max	16	20,0	20,0	15,0	5,0	6,0	6,0	30,0	20,0	20,0	60,0	50,0	40,0	60,0	150,	50,0	15,0	15,0	10,0
	min		8,0	8,0	3,0	2,0	3,0	3,0	5,0	5,0	5,0	15,0	15,0	15,0	1,5	0	1,5	8,0	3,0	10,0
	с		13,3	11,7	8,6	4,1	3,7	4,0	15,6	12,0	13,3	30,0	23,0	22,0	6,9	1,5	25,3	8,0	10,0	9,0
Прибай- кальская	max	12	20,0	20,0	30,0	8,0	6,0	6,0	30,0	40,0	40,0	60,0	60,0	100,	300,	150,	200	15,0	15,0	20,0
	min		8,0	3,0	3,0	2,0	1,0	2,0	10,0	10,0	10,0	15,0	15,0	0	0	0	1,5	8,0	6,0	6,0
	с		11,5	9,9	13,1	5,0	3,4	4,1	15,8	21,0	24,6	42,0	28,0	15,0	1,5	1,5	33,0	10,9	10,0	11,9
Байкальская	max	9	20,0	15,0	20,0	5,0	6,0	6,0	20,0	10,0	10,0	30,0	40,0	40,0	90,0	30,0	200	15,0	10,0	10,0
	min		8,0	8,0	3,0	1,0	2,0	3,0	5,0	10,0	5,0	15,0	15,0	15,0	1,5	1,5	1,5	6,0	8,0	10,0
	с		11,8	10,1	11,0	3,1	3,1	3,8	12,8	10,0	9,2	22,0	22,0	27,0	2,4	5,6	4,3	10,0	9,7	10,0
Хамар- Дабанская	max	15	20,0	15,0	20,0	5,0	6,0	6,0	20,0	30,0	10,0	50,0	50,0	40,0	1,5	1,5	1,5	10,0	15,0	10,0
	min		6,0	8,0	3,0	2,0	3,0	3,0	5,0	10,0	10,0	15,0	15,0	15,0	1,5	1,5	1,5	6,0	10,0	10,0
	с		11,6	11,3	22,6	3,4	4,0	3,9	15,0	14,3	10,0	22,0	26,0	23,0	1,5	1,5	1,5	9,0	10,4	10,0
Удино- Витимская	max	4	10,0	10,0	15,0	4,0	4,0	3,0	20,0	20,0	20,0	15,0	40,0	40,0	1,5	1,5	1,5	10,0	10,1	10,0
	min		8,0	10,0	10,0	2,0	3,0	3,0	5,0	10,0	10,0	15,0	15,0	15,0	1,5	1,5	1,5	8,0	10,0	10,0
	с		9,5	10,0	11,7	3,0	3,3	3,0	11,3	12,5	13,3	15,0	25,0	23,0	1,5	1,5	1,5	9,5	10,0	10,0

Примечание: A<sub>1</sub>, D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub> – почвенные горизонты.

Таблица 1.3

Параметры распределения редких и рассеянных химических элементов в почвах различных ландшафтных областей (мг/кг)

Ландшафтная область	Содержание	n	Скандий (Sc)			Иттербий (Yb)			Литий (Li)			Лантан (La)			Рубидий (Rb)			Галлий (Ga)		
			A <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	A <sub>1</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>
Байкало-Джугджурская горно-таежная	max min с	109	30,0	20,0	40,0	8,0	8,0	6,0	50,0	100,0	80,0	800,0	60,0	200,0	300,0	150,0	200,0	20,0	20,0	15,0
			3,0	6,0	3,0	1,0	1,0	1,0	5,0	5,0	5,0	15,0	15,0	15,0	1,5	1,5	1,5	3,0	6,0	3,0
			10,0	10,0	12,9	3,3	3,4	3,7	17,1	13,6	14,0	24,0	24,0	31,0	31,9	24,8	6,8	9,6	9,4	10,1
Южно-Сибирская горно-таежная (пихтово-кедровая)	max min с	133	30,0	20,0	37,4	10,0	20,0	10,0	50,0	100,0	100,0	100,0	60,0	200,0	200,0	200,0	200,0	20,0	30,0	20,0
			3,0	3,0	3,0	1,0	1,0	1,5	5,0	5,0	5,0	15,0	15,0	15,0	1,5	1,5	1,5	6,0	3,0	4,0
			10,0	10,8	12,1	3,6	3,6	4,0	19,4	16,1	15,3	31,0	34,0	134,0	59,3	20,6	12,1	10,4	10,2	11,7
Южно-Сибирская горно-таежная (сосновая с примесью лиственных)	max min с	126	20,0	20,0	30,0	8,0	8,0	6,0	50,0	100,0	50,0	60,0	60,0	100,0	300,0	300,0	150	20,0	20,0	20,0
			3,0	8,0	3,0	1,0	1,0	0,3	5,0	5,0	5,0	15,0	15,0	15,0	1,5	1,5	1,5	4,0	6,0	4,0
			9,6	10,8	13,8	3,6	3,8	3,6	16,8	16,3	17,0	23,0	28,0	25,0	48,2	22,4	8,2	9,7	10,1	10,1
Средне-Сибирская равнинно-платообразная, таежная	max min с	11	30,0	20,0	20,0	6,0	5,0	6,0	50,0	30,0	30,0	200,0	40,0	50,0	80,0	150,0	200,0	20,0	15,0	15,0
			8,0	8,0	8,0	3,0	2,0	3,0	10,0	5,0	5,0	15,0	15,0	15,0	1,5	1,5	6,0	10,0	10,0	10,0
			14,2	12,9	16,6	4,6	3,8	4,1	18,2	14,4	14,6	134,0	25,0	22,0	34,1	60,6	20,2	12,7	10,6	10,5
Южно-Сибирская платообразная, лесостепная (ангарская лесостепь)	max min с	23	20,0	20,0	40,0	6,0	8,0	8,0	30,0	100,0	50,0	50,0	40,0	50,0	150,0	150,0	40,0	20,0	15,0	15,0
			3,0	3,0	3,0	2,0	1,0	1,0	10,0	5,0	5,0	15,0	15,0	15,0	1,5	1,5	1,5	6,0	8,0	3,0
			9,4	11,2	14,5	3,9	3,8	3,7	16,5	18,3	19,1	20,0	27,0	24,0	37,4	20,0	11,1	9,8	10,3	9,5
Западно-Забайкальская (даурская степь)	max min с	56	20,0	20,0	30,0	8,0	6,0	6,0	40,0	60,0	80,0	50,0	50,0	400,0	300,0	150,0	150,0	15,0	15,0	20,0
			6,0	6,0	3,0	1,0	2,0	1,0	5,0	5,0	5,0	15,0	15,0	15,0	1,5	1,5	1,5	3,0	8,0	3,0
			10,6	11,8	12,4	3,5	3,9	3,7	17,1	17,4	14,5	24,0	29,0	39,0	44,1	17,1	14,5	9,7	9,6	9,8
Онон-Аргунская степная (высоких равнин и денудационных плато)	max min с	18	10,0	20,0	30,0	5,0	6,0	6,0	50,0	60,0	40,0	30,0	50,0	30,0	200,0	150,0	100,0	10,0	20,0	15,0
			3,0	8,0	6,0	2,0	2,0	2,0	5,0	5,0	5,0	15,0	15,0	15,0	30,0	1,5	6,0	3,0	6,0	8,0
			6,4	11,3	13,1	3,4	3,7	3,6	19,4	17,7	18,0	22,0	26,0	22,0	84,6	20,5	13,0	8,5	10,0	9,9



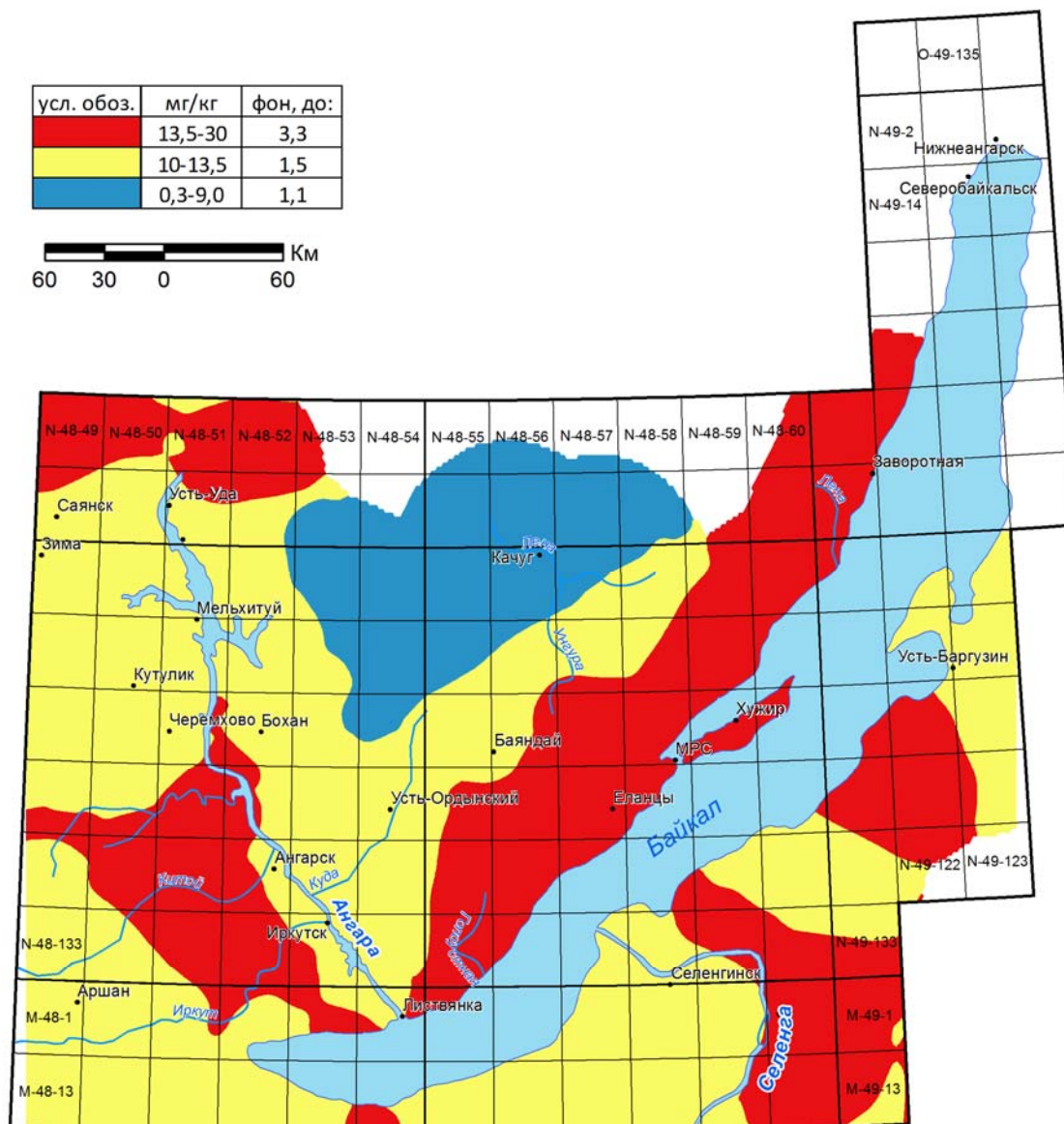


Рис. 1.1. Распределение содержаний скандия в донных отложениях на площади Байкальского региона

## 1.2. Ниобий

Средние содержания редкого элемента ниобия в Прибайкалье составляют (мг/кг): в коренных породах – 15,0, в почвах – 13,2–14,9 (среднее – 14,1), в донных отложениях – 15,5, т. е. близки к кларку для кислых и осадочных пород (20).

Ниобий, как известно, всегда ассоциирует с танталом и урановыми соединениями. Связаны они, как правило, с гранитными или нефелин-сиенитовыми пегматитами.

### 1.3. Иттрий

В основных породах кларк редкоземельного элемента иттрия составляет 20 мг/кг. Более высокие содержания свойственны для кислых и осадочных пород (соответственно 34 и 33 мг/кг) и еще более высокие – для почв (50 мг/кг).

Средние содержания этого элемента в компонентах окружающей среды Прибайкалья находятся примерно на таком же уровне (мг/кг): в коренных породах – 22,5, в донных отложениях – 40,8, в почвах – 35,5–38,8, среднее – 37,2. Ореолы с максимальными содержаниями иттрия (до 100 мг/кг и более) отмечаются практически во всех компонентах окружающей среды и приурочены преимущественно к северо-западному побережью оз. Байкал, а также к левобережью р. Ангары, от оз. Байкал до г. Зимы (рис. 1.2).

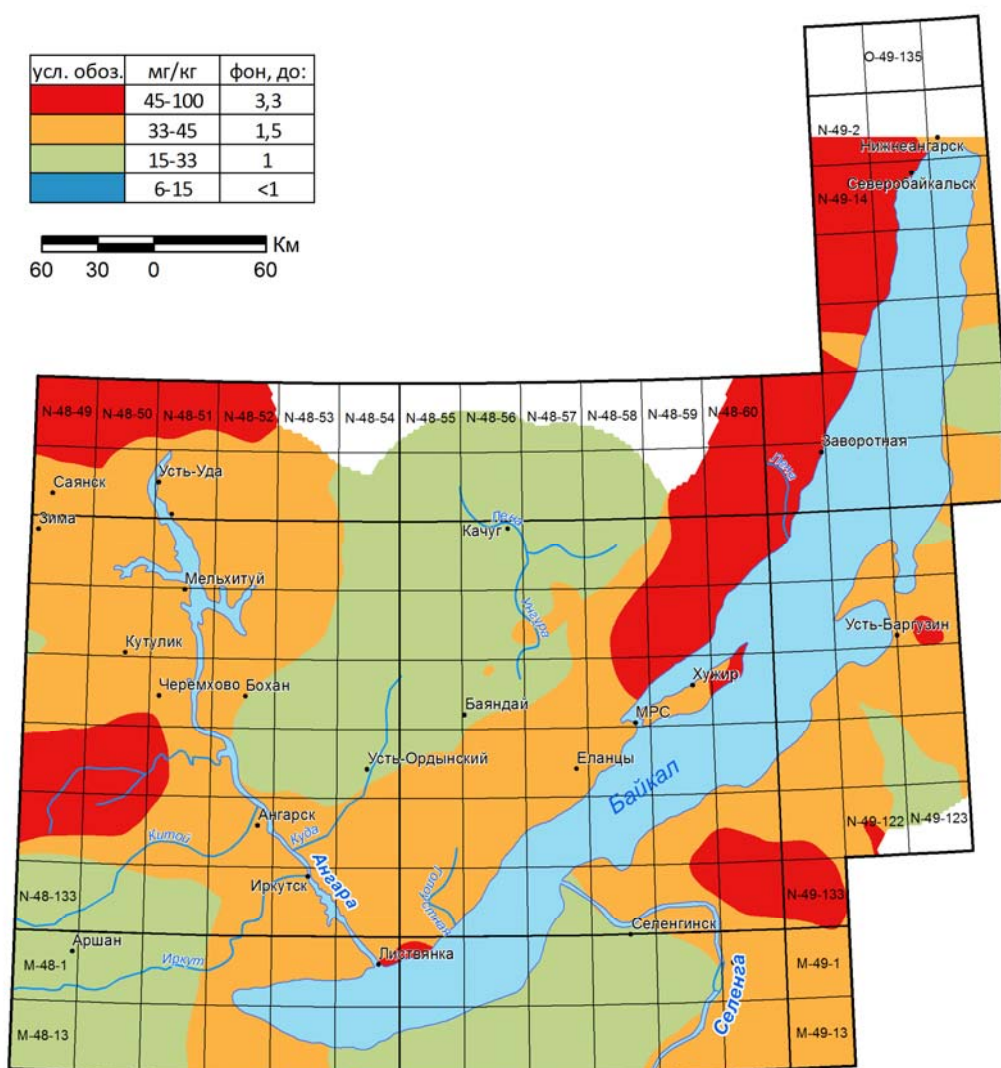


Рис. 1.2. Распределение содержаний иттрия в коренных породах на площади Байкальского региона

Геохимический иттрий тесно связан с другими редкими землями и концентрируется главным образом в гранитных пегматитах или в пегматоидных гранитных породах. Иттрий, как правило, содержится в редких урано-титано-ниобатах или фосфатах. Вероятно, такие разновидности пород имеют широкое распространение в областях геохимических полей с высокими содержаниями этого элемента в данном регионе.

#### **1.4. Иттербий**

Среднее содержание редкоземельного элемента иттербия в компонентах окружающей среды Прибайкалья составляет (мг/кг): в коренных породах – 3, в донных отложениях – 4,4, в почвах – 3,9–4,0 при максимальном значении 10–20. Эти данные близки к кларку этого элемента в кислых (4) и осадочных (3) породах (см. табл. 1.1). Максимальные средние содержания иттербия в почвах свойственны для Прибайкальской (4,1–5,0 мг/кг), Присаянской (4,0–4,1 мг/кг), Хамар-Дабанской СФЗ (4,0 мг/кг), а также Юрского угленосного бассейна (4,0–4,1 мг/кг); Средне-Сибирской равнинно-плоскогорной, таежной ландшафтной области (4,1–4,5 мг/кг) (табл. 1.2, 1.3) и для некоторых типов почв (до 5,4). На площади полигона геохимические поля с максимальными содержаниями иттербия в коренных породах и донных отложениях 10–30 мг/кг образуют небольшие пятна преимущественно в полосе вдоль рек Ангары и Селенги (из-за малых размеров этих пятен на рис. 1.3 они не отражены), а также в прибрежной части северной половины оз. Байкал. В пределах южной части Сибирской платформы содержания этого элемента в основном минимальные (1–3,5 мг/кг). В почвах аллювиальных и делювиальных отложений содержания иттербия колеблются в пределах 3,5–4,8 мг/кг в пределах южной части и 1,5–3,5 мг/кг – в северной части полигона (рис. 1.3).

Геохимия и местонахождение иттербия тесно связаны с иттрием.

#### **1.5. Лантан**

Содержания редкоземельного элемента лантана колеблются в пределах (мг/кг): от десятых долей до 27 в основных породах, 30–70 – в средних, 45–150 – в кислых (в среднем 60 мг/кг) и от 4 до 90 (в среднем 40 мг/кг) в осадочных породах. Такие же средние содержания этого элемента отмечаются в почвах, при этом различия между разными типами почв не обнаружено, они составляют 34,4–49,8 при среднем 40 мг/кг. В промышленных районах в окружающую среду лантан поступает при сжигании углей и производстве атомной энергии. Средние содержания

лантана в Прибайкалье находятся на уровне кларковых (40) значений (мг/кг): в коренных породах – 35,2, в почвах – 27,8–30,2 (29,2), в донных отложениях – 42. Во всех СФЗ средние содержания лантана в почвах примерно равны (21,7–30,0 мг/кг) и лишь в Прибайкальской СФЗ (в аллювиальных почвах) и Ленской подзоне они несколько повышены (42 мг/кг). В большинстве ландшафтных областей средние содержания лантана колеблются в пределах 20–30 мг/кг, а в Южно-Сибирской горно-таежной (пихтово-кедровой), Средне-Сибирской равнинно-плоскогорной, таежной, Байкало-Джугджурской горно-таежной и Западно-Забайкальской (даурская степь) они повышены (31,0–38,6 мг/кг) (табл. 1.2, 1.3). В некоторых типах почв (каштановые) содержание этого элемента достигают 44 мг/кг. Ореолы лантана практически во всех компонентах окружающей среды (до 400 мг/кг) фиксируются преимущественно по северо-западному и юго-восточному побережью оз. Байкал, а также по левобережью р. Ангары. В северной части полигона в пределах Сибирской платформы содержания этого элемента минимальные – 0–30 мг/кг (рис. 1.4).

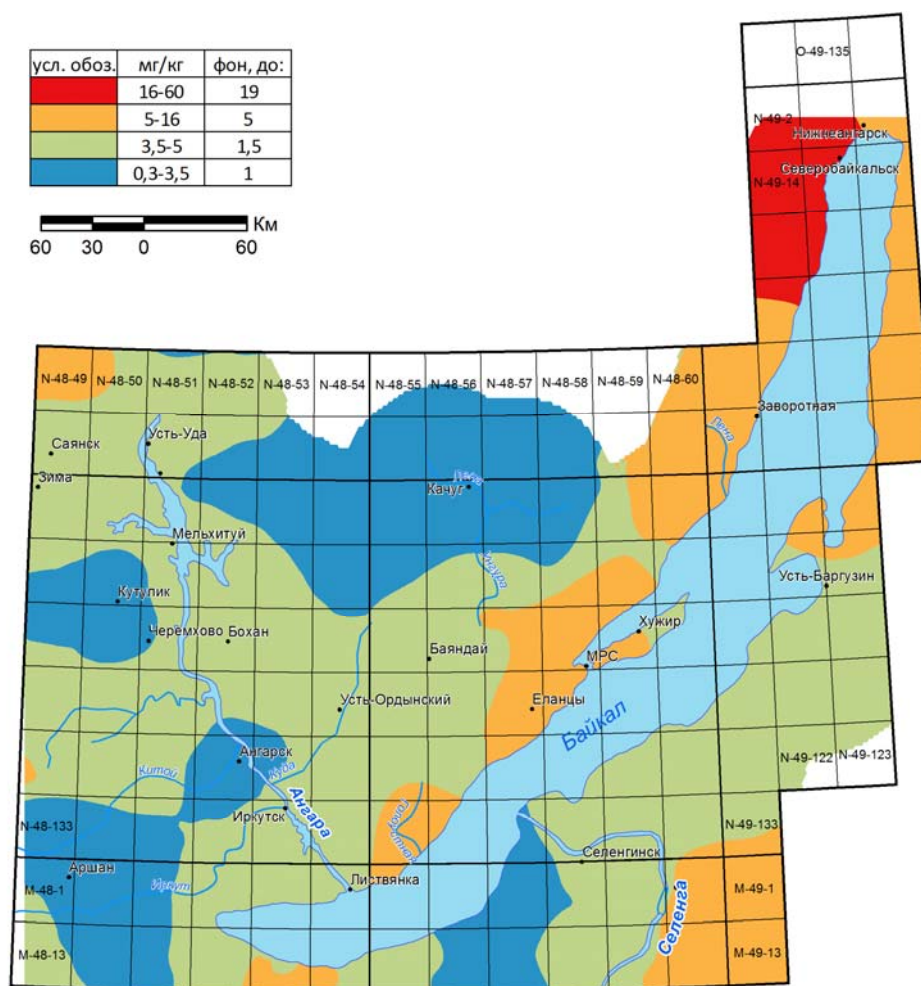


Рис. 1.3. Распределение содержаний иттербия в донных отложениях на площади Байкальского региона



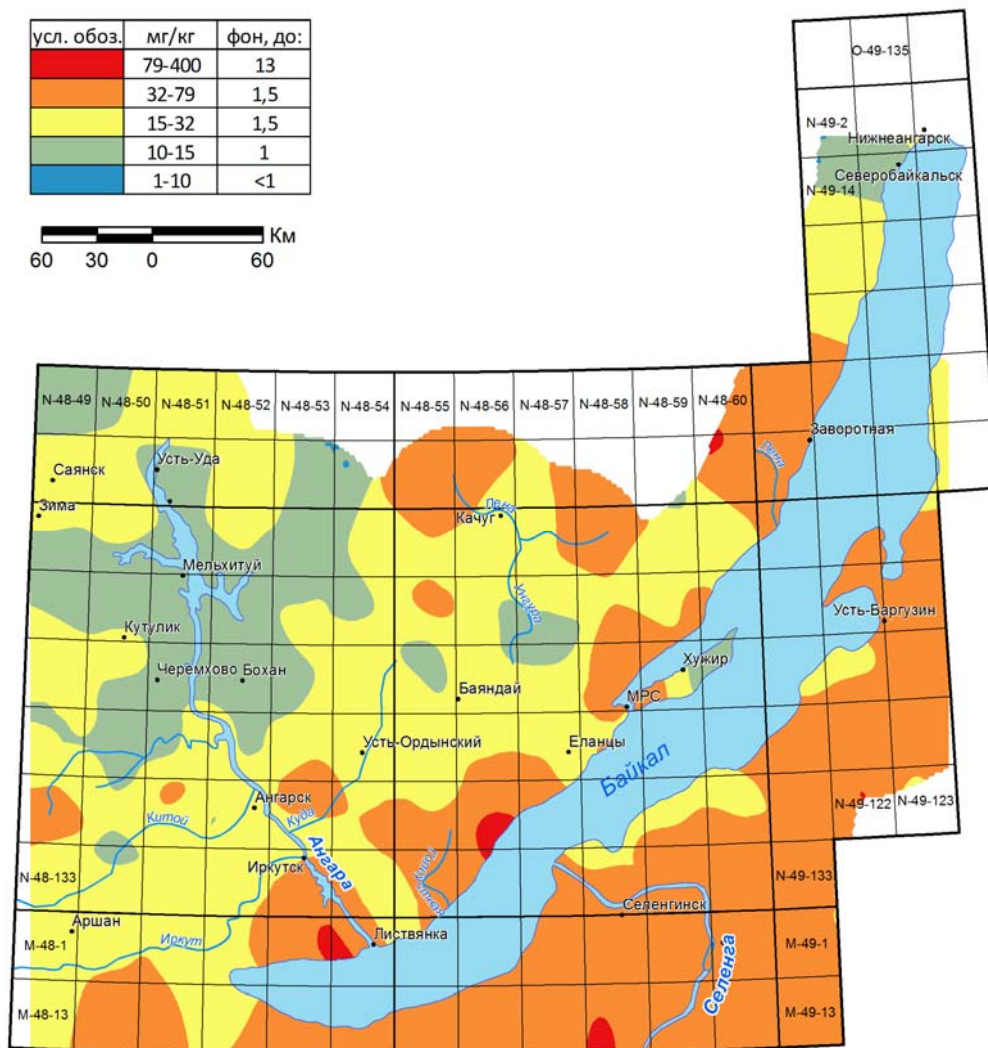


Рис. 1.4. Распределение содержаний лантана в коренных породах на площади Байкальского региона

Геохимия и местонахождение лантана аналогичны иттрию, иттербию и другим редкоземельным элементам.

## 1.6. Галлий

Содержания рассеянного элемента галлия в ультраосновных породах составляют 2 мг/кг, в основных и кислых – 18–20 мг/кг, в осадочных породах и почвах – 30 мг/кг [Справочник по геохимии, 1990; Тейлор, Мак-Леннан, 1998]. Содержания этого элемента в почвах СССР – 6,17 мг/кг; в почвах, развитых на базальтах и андезитах Новой Зеландии, – 16–48 мг/кг; в почвах Англии и Китая средние значения составляют 21 при максимальном 50 мг/кг; в различных почвах США – 11–30 мг/кг. Таким образом, содержания галлия в почвах разных стран колеблются в пределах 1–70 мг/кг, при среднем значении 28 мг/кг [Брукс, 1986].

Средние содержания галлия в окружающей среде Прибайкалья составляют (мг/кг): в коренных породах – 15,9, в донных отложениях – 10,5, в почвах – 10,0–10,4 (10,2). Таким образом, среднее содержание этого элемента в окружающей среде Байкальского полигона примерно в два раза ниже кларковых значений, вероятно в связи с малым количеством алюмосиликатных пород, с которыми, как правило, он связан. Колебания средних содержаний галлия в почвах различных СФЗ незначительны и находятся в пределах 9,5–10,9 мг/кг, в ландшафтных зонах – 8,5–12,7 мг/кг, а в различных типах почв – 8,0–12,5 мг/кг. Лишь в Прибайкальской зоне фиксируется очень слабое повышение содержаний этого элемента (11,9 мг/кг) (см. табл. 1.2, 1.3), геохимические поля со слабо повышенными содержаниями галлия (мг/кг): в коренных породах – 11–15, реже 15–30 и донных отложениях – 10–13,5 – фиксируются в виде отдельных полос и пятен преимущественно по всей прибрежной северо-западной (Прибайкальская СФЗ) и юго-восточной частей оз. Байкал, а также в западной части полигона, по обеим сторонам р. Ангары. В пределах Сибирской платформы содержания галлия не превышают 9–11 мг/кг. В почвах аллювиальных и делювиальных отложений слабо повышенные содержания галлия (13,5–20 мг/кг) отмечаются по обеим сторонам р. Ангара, от г. Иркутска до г. Черемхово, в северной части региона, а также по обеим побережьям оз. Байкал. На остальной части полигона содержания этого элемента в почвах колеблются в пределах 6–11 мг/кг, а от Братского водохранилища до поселков Усть-Орда, Качуг содержания минимальные – 1–10 мг/кг (рис. 1.5).

Галлий, как известно, является самым редким элементом земной коры и не образует собственных минералов. Минералами, в которых присутствует галлий, являются: сфалерит, богатый железом, некоторые бокситы и нефелин. Вероятно, небольшое количество этих образований присутствует в участках со слабо повышенными содержаниями галлия, указанных выше в пределах региона.

## **1.7. Литий**

Литий концентрируется преимущественно в кислых магматических породах и осадочных алюмосиликатных. Кларк щелочного металла лития (мг/кг): в основных породах – 15, в средних – 20, в кислых – 40, осадочных – 60, в почвах – 30. Средние содержания лития в почвах разных стран колеблются в пределах 1,2–98 [Брукс, 1986].

В пределах Байкальского полигона среднее содержание лития составляет (мг/кг): в коренных породах – 26,7 (близкое значение к кларку), в почвах – 16,8–17,5 (среднее 17,2), что ниже кларка примерно в два раза, в донных отложениях – 16,8.



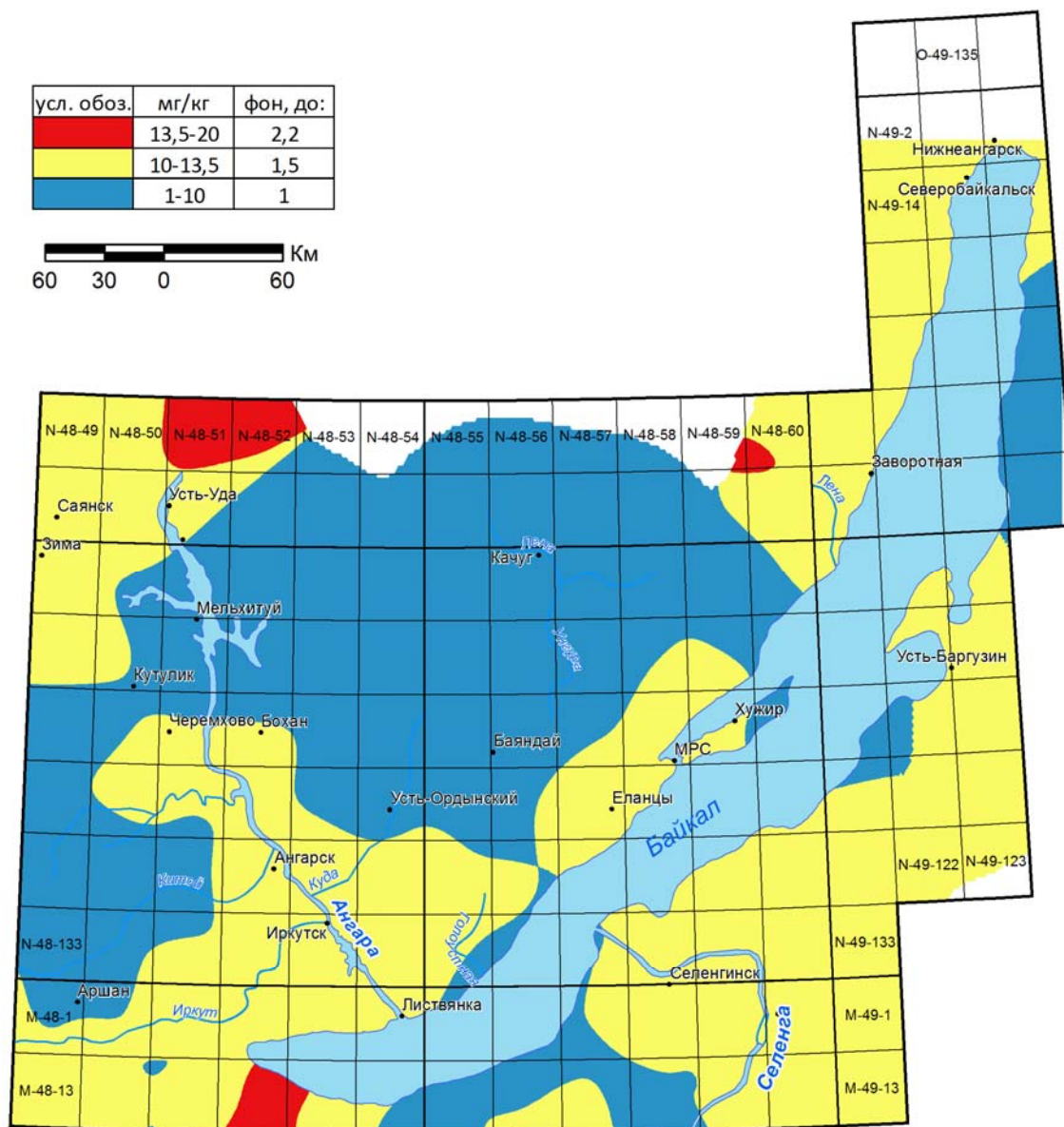


Рис. 1.5. Распределение содержаний галлия в аллювиальных почвах на площади Байкальского региона

Наиболее высокие средние содержания лития наблюдаются в Ангаро-Ленской (20,3 мг/кг) и Прибайкальской (24,6 мг/кг) СФЗ. Минимальные средние содержания лития свойственны для Байкальской СФЗ (9,2–12,8 мг/кг) (см. табл. 1.2). Наиболее высокие содержания лития в ландшафтных областях отмечаются в Южно-Сибирской горно-таежной (пихтово-кедровой), в пойменных отложениях Южно-Сибирской плоскогорной, лесостепной (ангарская лесостепь), в делювиальных почвах, в Онон-Аргунской степной (высоких равнин и денудационных плато), в почвах аллювиальных и делювиальных отложений. На площади Байкальского полигона в коренных породах и донных отложениях ореолы с

наиболее высокими содержаниями лития (20–60 мг/кг и более) в виде отдельных точек отмечаются в районах левобережья и правобережья р. Ангары и на побережье оз. Байкал (от о. Ольхон до пос. Северобайкальск) и в ряде других районов Сибирской платформы, а также на юго-восточном побережье озера. На остальной площади фиксируются преимущественно содержания в пределах 2–10 мг/кг. В северной части полигона содержания лития ниже фоновых – 0,5–2,0 мг/кг. В почвах повышенные содержания лития отмечаются в тех же районах, но при более низких концентрациях (рис. 1.6).

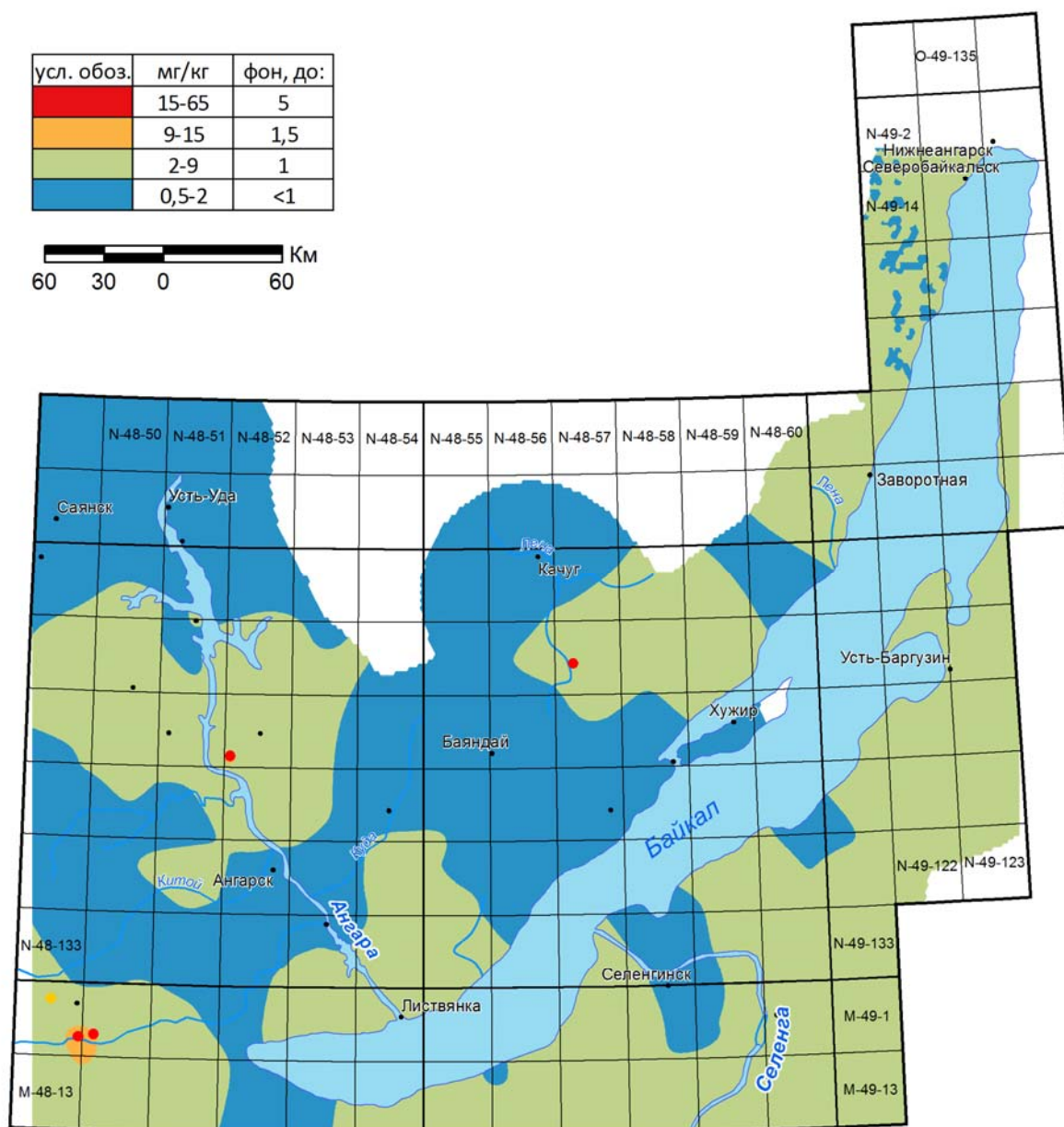


Рис. 1.6. Распределение содержаний лития в коренных породах на площади Байкальского региона

Литий, как известно, содержится в литиевых гранитных пегматитах и фосфатах, содержащих лепидолит и циннвальдит. Вероятно, эти образования имеются в небольшом количестве в районах с повышенным содержанием лития в рассматриваемом регионе.

## **1.8. Цезий**

Цезий, как и литий, щелочной металл, концентрируется преимущественно в кислых магматических породах и глинистых осадках, возможна аккумуляция цезия в богатых органическим веществом горизонтах почв. Пределы содержаний этого элемента в почвах – 0,3–26 мг/кг, самые высокие концентрации отмечаются в верхнем слое лесной почвы и в черноземе. В различных компонентах окружающей среды Прибайкалья содержание цезия (мг/кг) составляет: в коренных породах – 6,2, в почвах – 3,6–9,6 (среднее – 5,9), в донных отложениях – 6,8. Эти показатели ненамного превышают кларк для кислых пород и почв (5) и почти в два раза меньше кларка для осадочных пород (12). Максимальные средние содержания цезия (в мг/кг) фиксируются в Средне-Сибирской равнинно-плоскогорной, таежной ландшафтной области (5,3–5,9), а также в Южно-Сибирской горно-таежной (пихтово-кедровой) (5,2) и в Онон-Аргунской степной ландшафтных областей (5,7). Наиболее высокие содержания цезия отмечаются также в некоторых типах почв (каштановые – до 9,4 мг/кг). Отдельные пятна с повышенными содержаниями цезия (7–8 мг/кг) обнаруживаются в районе о. Ольхон и г. Ангарска. В пределах Сибирской платформы содержания цезия не превышают 5–7 мг/кг, а на восточном побережье оз. Байкал и левобережья р. Ангары содержания этого элемента в пределах фоновых – 1,5–5,5 мг/кг (рис. 1.7).

Минералами, содержащими цезий, являются: лепидолит, поллучит, амазонит и воробьевит. Эти минералы присутствуют в пегматитах гранитоидных магм, в вулканитах калиевых магм, в карналлитах соляных растворов.

## **1.9. Рубидий**

По распространенности и геохимическим свойствам щелочной элемент рубидий близок к литию и цезию. Наиболее высокие концентрации его свойственны для кислых магматических и осадочных пород (кларк – 200 мг/кг). В почвах рубидий в основном наследуется от материнских пород. Средние содержания в почвах многих стран изменяются от 33 до 270 мг/кг [Брукс, 1986]. Кларк для почв – 100 мг/кг.

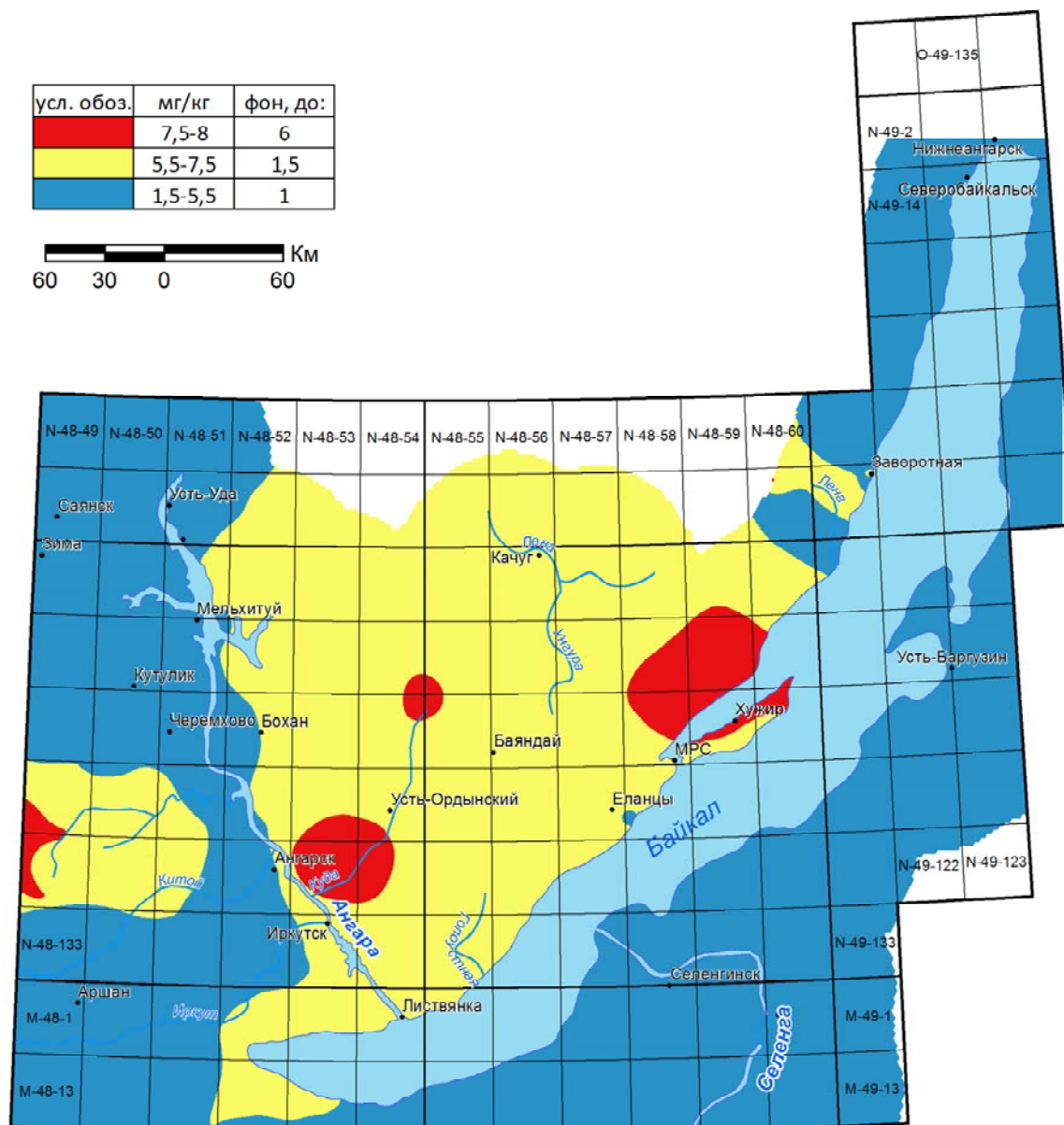


Рис. 1.7. Распределение содержаний цезия в коренных породах на площади Байкальского региона

Средние содержания рубидия в Байкальском полигоне (мг/кг): в коренных породах – 38,7, в почвах 24,9–40,5 (среднее – 35,1), в донных отложениях – 53,1. Максимальные средние содержания рубидия фиксируются в Ангаро-Ленской (20,5–26,7), Присянской и Прибайкальской СФЗ (25,4–44,4), а также в Южно-Сибирской горно-таежной (пихтово-кедровой), Онон-Аргунской степной и Средне-Сибирской равнинно-плоскогорной, таежной ландшафтных областях (53,3–84,6) (см. табл. 1.2, 1.3). На площади полигона практически во всех компонентах окружающей среды максимальные содержания рубидия (75–300 мг/кг) отмечаются в виде пятен различного размера, образующих в целом дугу, приуро-



ченную к обрамлению Сибирской платформы: на левобережье р. Ангары и по всему северо-западному побережью оз. Байкал, а также в районе между г. Ангарском, поселками Бохан, Усть-Ордынский. На остальной части Сибирской платформы содержания рублидия находятся в пределах 20–80 мг/кг. Юго-восточная часть площади, примыкающая к оз. Байкал, характеризуется самыми низкими содержаниями этого элемента – 1–10 мг/кг (рис. 1.8).

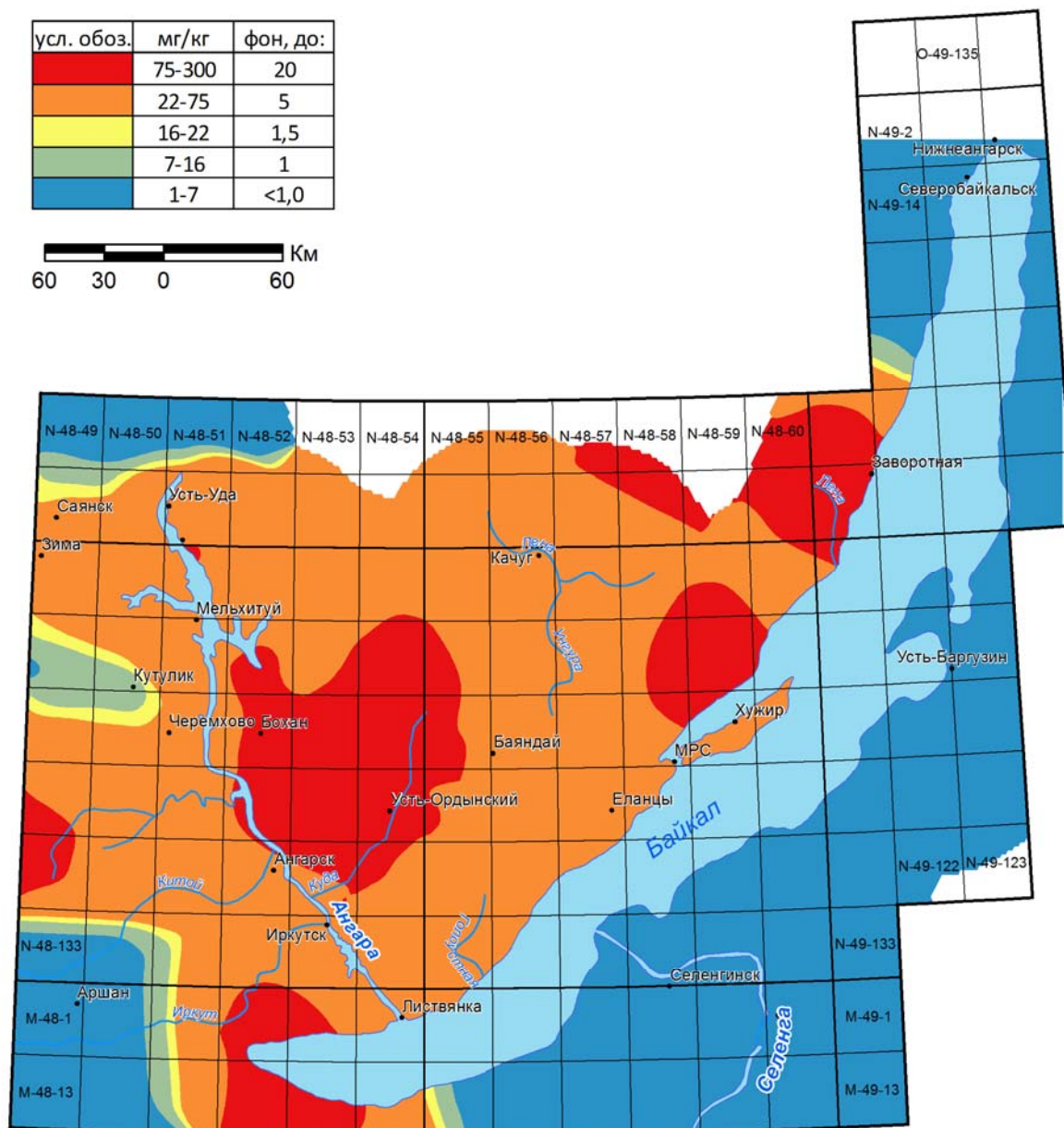


Рис. 1.8. Распределение содержаний рублидия в аллювиальных почвах на площади Байкальского региона

Рубидий концентрируется в гранитоидных пегматитах, в минералах: лепидолите и амазоните, а также в соляных месторождениях, где соли рубидия приурочены к солям калия и цезия. Вероятно, указанные образования в каких-то количествах присутствуют в районах с повышенными содержаниями этого элемента в регионе.

## 1.10. Ассоциации редких элементов

Все описанные выше редкие химические элементы в пространстве во всех компонентах окружающей среды (коренные породы, донные отложения и почвы) образуют следующие ассоциации.

В коренных породах (табл. 1.4) максимальные коэффициенты концентрации (КК) более 10 свойственны лишь для двух элементов – Li, Rb; от 6 до 9 для трех элементов – Yb, La, Li. Остальные элементы имеют КК от 2 до 5 или менее 2 (фоновые). 19 выделенных ассоциаций (левая графа табл. 1.4) объединены в 8 групп (названных по элементам с максимальными КК): литиевая, рубидиевая, иттриевая, иттербиевая, скандиевая, лантановая, галлиевая и фоновая. Преобладающая часть площади в бассейне р. Ангары и на северо-западном побережье оз. Байкал заняты рубидиевой группой ассоциаций, а на юго-восточном побережье этого озера свойственна преимущественно литиевая и иттербиевая группы ассоциаций (рис. 1.9). Следует отметить, что корреляционная связь между элементами в ассоциациях отсутствует.

Таблица 1.4

Геохимические формулы редких и рассеянных химических элементов  
(коренные породы)

Высокие КК (>10)	Средние КК (6–9)	Низкие КК (2–5)	Название ассоциаций	№ <sup>2</sup>
Li – 75,7	–	Ga – 5,0 (100)	Литиевые	7
Li – 30,0	–	Y, Yb (30), -Rb – 2,0		35
–	Li – 6	Rb – 2		34
–	–	Li – 2,7		2
Rb – 11,2 (20)	–	Y – 3,5, La – 3,4, Yb – 2,9	Рубидиевые	10
–	Rb – 6,7	Li – 2,6, Y – 2,4, Yb – 2,1, Sc – 2,0		11
–	–	Rb – 3,2, Li – 2,6, Y – 2,4, Yb – 2,1, Sc – 2,0		9
–	–	Y – 5,3, Yb – 5,0, Rb – 4,0, Sc – 2,5, La – 2,0	Иттриевые	32
–	–	Y Yb – 3,0		29
–	Yb – 8,1	Li – 4,3	Иттербиевые	25
–	Yb – 7,0	–		6

<sup>2</sup> Отсутствующие номера ассоциаций в данном столбце (1–4 и др.) представлены одиночными точками, не отображенными на схеме (рис. 1.9).



Высокие КК (>10)	Средние КК (6–9)	Низкие КК (2–5)	Название ассоциаций	№ <sup>3</sup>
–	–	Yb – 4,8, Y – 4,3, La – 2,6 Ga – 2,1		21
–	–	Sc – 3,3, La – 2,8, Y = 2,7, Li – 2,2, Yb – 2,0	Скандиевые	15
–	–	Sc – 2,5, Y – 2,7		16
–	La – 6,7	Li – 3,6(20), Y – 3,3, Yb – 2,9, Ga – 2,0	Лантановые	20
–	–	La – 4,2, Li – 3,3, Ga – 3,4, Y – 2,3		28
–	–	Ga – 3,0	Галлиевые	24
–	–	Ga – 2,0		13
–	–	Химические элементы с КК < 1,5	Фоновые	2,5ф

Примечание: Номера с правой стороны таблицы соответствуют номерам ассоциаций на рис. 1.9.

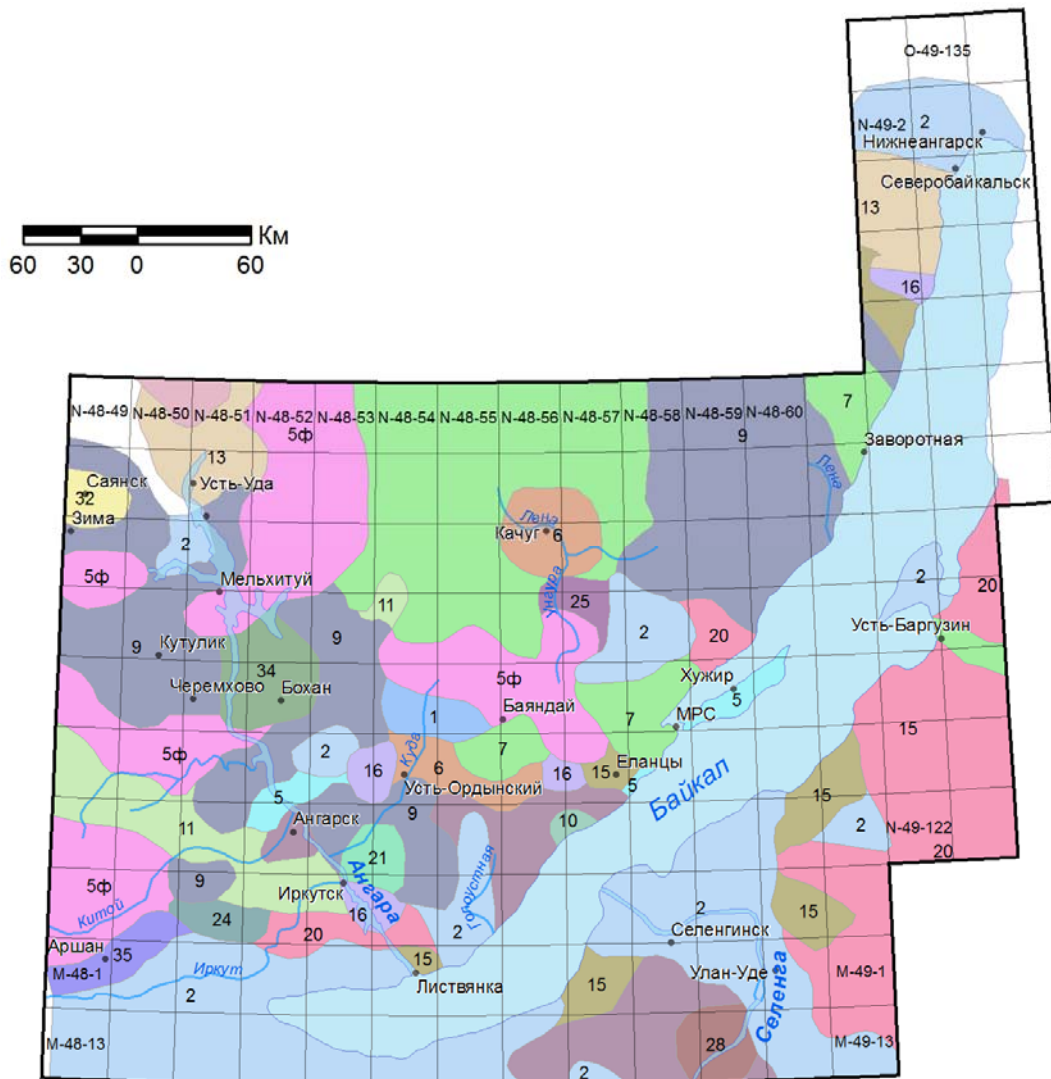


Рис. 1.9. Полиэлементная карта: распределение содержаний редких и рассеянных химических элементов в коренных породах на площади Байкальского региона. Условные обозначения см. в табл. 1.4

<sup>3</sup> Отсутствующие номера ассоциаций в данном столбце (1–4 и др.) представлены одиночными точками, не отображенными на схеме (рис. 1.9).

В донных отложениях 24 ассоциации (в табл. 1.5 показаны лишь 12) объединены в 5 групп: рубидиевая, иттриевая, иттербиевая, литиевая и фоновая (табл. 1.5, рис. 1.10). Вся площадь в бассейне р. Ангары и на западном побережье оз. Байкал заняты рубидиевой группой ассоциаций, а юго-восточное побережье этого озера – фоновыми ассоциациями. Северное побережье оз. Байкал занято литиевыми и иттрий-иттербиевыми ассоциациями. Фиксируется положительная корреляционная связь между Y и Yb (0,94) и Y, Yb с La (0,5).

В почвах выделенные 16 ассоциаций (в табл. 1.6 показаны лишь 6) объединены лишь в 2 группы: рубидиевая и фоновая (табл. 1.6, рис 1.11). Расположение ассоциаций в пространстве аналогично таковому в донных отложениях. Почти вся западная часть площади от оз. Байкал занята рубидиевыми, а юго-восточная – фоновыми ассоциациями. Установлена положительная корреляционная связь в почвах следующих химических элементов: Y с Yb (0,83) и La (0,65) и Yb с La (0,59) и Sc (0,50) (табл. 1.7).

Таблица 1.5

Геохимические формулы редких и рассеянных химических элементов  
(донные отложения)

Высокие КК (> 10)	Средние КК (6–9)	Низкие КК (2–5)	Название ассоциаций	№ <sup>4</sup>
Rb – 13,3	–	La – 3,0, Y – 2,9, Yb – 2,8, Cs – 2,3(40)	Рубидиевая	20
Rb – 10,0	Li – 6,7	La – 5,0, Cs – 4,0, Yb – 2,5, Y – 2,3, Sc – 2,2		15
–	Rb – 7,2	–		5
–	–	Rb – 3,4–3,3		4, 13
–	–	Rb – 2,7		18
Yb – 11,5 (19)	Y – 8,6 (14,3)	La – 5,0 Ga – 2,2	Иттербиевая	7
–	–	Yb – 3,7, Y – 3,0, La – 2,0		6
–	–	Yb – 3,1, Y – 2,3		11
–	–	Yb – 2,4, Y – 2,0		10
–	–	Y – 4,3, Rb – 4,0, La – 3,3, Yb – 3,1	Иттриевая	24
–	–	Li – 2,9, Rb, Sc – 2,0	Литиевая	9
–	–	Химические элементы с КК <1,5	Фоновая	1,2

<sup>4</sup> Отсутствующие номера ассоциаций в данном столбце (1–3 и др.) представлены одиночными точками, не отображенными на схеме (рис. 1.10).

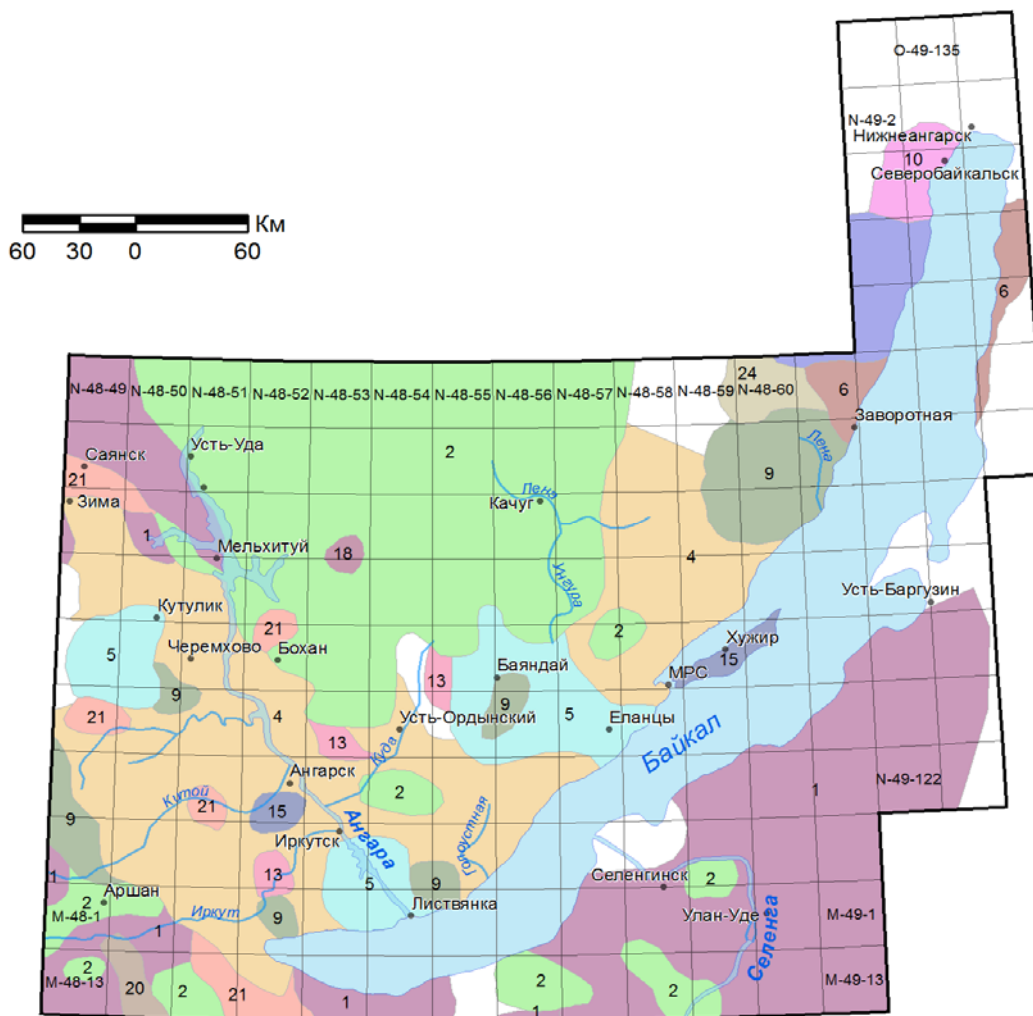


Рис. 1.10. Полиэлементная карта: распределение содержаний редких и рассеянных химических элементов в донных отложениях на площади Байкальского региона. Условные обозначения см. в табл. 1.5

Таблица 1.6  
Геохимические формулы редких и рассеянных химических элементов (почвы)

Высокие КК (> 10)	Средние КК (6–9)	Низкие КК (2–6)	Название ассоциаций	№ <sup>5</sup>
Rb – 12,7	–	La – 3,9, Y, Yb – 2,2	Рубидиевые	14
–	–	Rb – 5,9, La – 2,8, Li – 2,5		9
–	–	Rb – 5,3		7
–	–	Rb – 4,3		5
–	–	Rb – 3,2		6
–	–	Химические элементы с КК < 1,5	Фоновые	1,2

<sup>5</sup> Отсутствующие номера ассоциаций в данном столбце (1–4 и др.) представлены одиночными точками, не отображенными на схеме (рис. 1.11.).

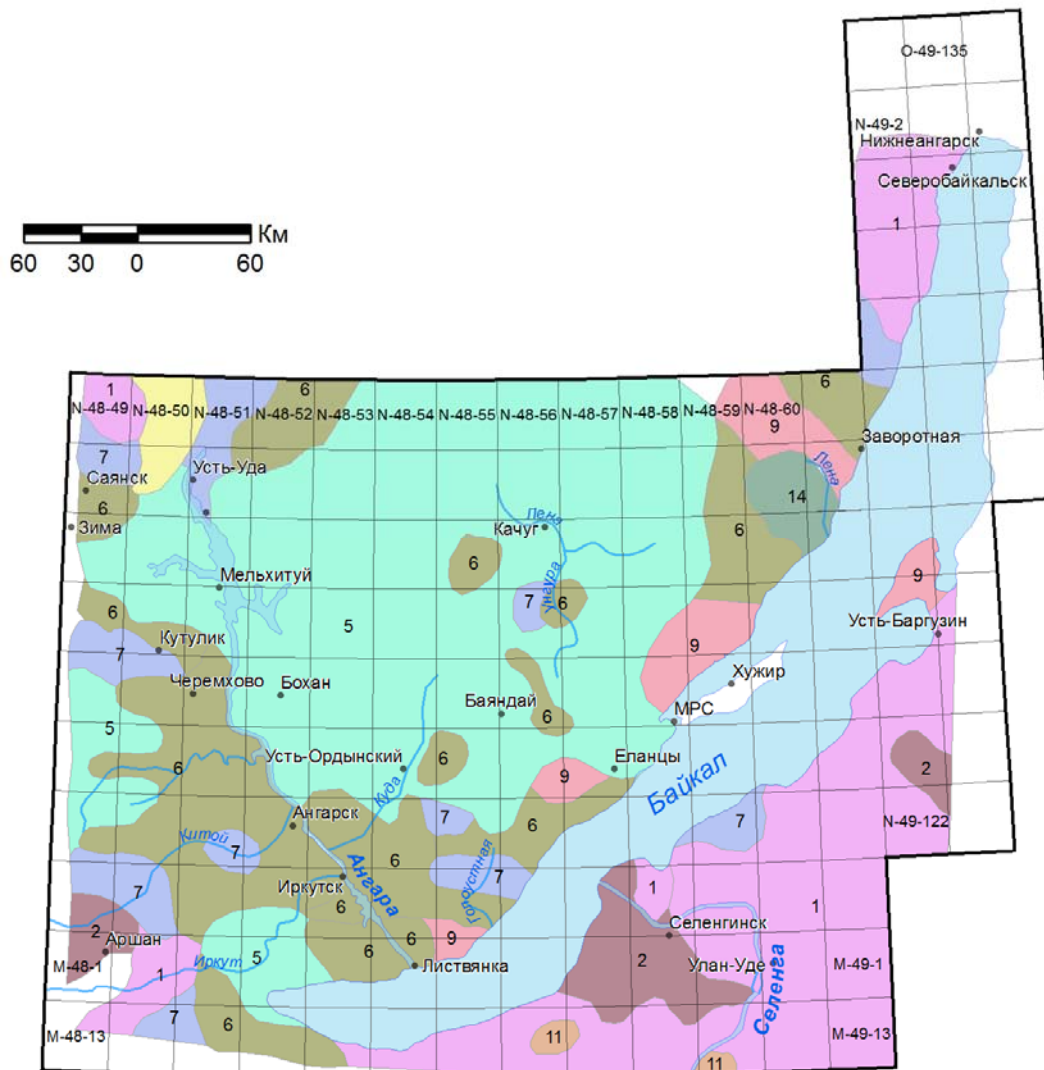


Рис. 1.11. Полиэлементная карта: распределение содержаний редких и рассеянных химических элементов в аллювиальных почвах на площади Байкальского региона. Условные обозначения см. в табл. 1.6

Таблица 1.7

Матрица коэффициентов корреляции химических элементов в аллювиальных почвах

	Li	Y	Yb	La	Sr	Ga	Rb	Cs	Sc
Li	1,00	0,16	0,11	0,16	0,06	0,13	0,14	0,20	0,13
Y	0,16	1,00	<b>0,83</b>	<b>0,65</b>	0,03	0,30	0,13	0,24	0,43
Yb	0,11	<b>0,83</b>	1,00	<b>0,59</b>	0,08	0,30	0,02	0,05	<b>0,50</b>
La	0,16	<b>0,65</b>	<b>0,59</b>	1,00	0,06	0,33	0,02	0,07	0,44
Sr	0,06	0,03	0,08	0,06	1,00	0,04	0,20	0,25	0,20
Ga	0,13	0,30	0,38	0,33	0,04	1,00	0,00	0,03	0,31
Rb	0,14	0,13	0,02	0,02	0,20	0,00	1,00	<b>0,75</b>	0,24
Cs	0,20	0,24	0,05	0,07	0,25	0,03	<b>0,75</b>	1,00	0,27
Sc	0,13	0,43	<b>0,50</b>	0,44	0,20	0,31	0,24	0,27	1,00

Итак, средние содержания химических элементов в пределах рассматриваемого региона относительно кларков характеризуются следующим образом. Во всех компонентах окружающей среды содержания Sc, Nb, Y, Yb, La, Ga, Li близки к их кларкам; Rb, Cs – ниже кларка. Эти данные, естественно, отражают средний петрографический состав горных пород, слагающих регион. Содержания химических элементов в различных СФЗ колеблются в незначительных пределах. Вместе с тем Сибирская платформа и ее обрамление несколько отличаются количественными значениями ряда элементов. Так, Ангаро-Ленская СФЗ, сложенная преимущественно осадочными образованиями, характеризуется несколько повышенными, относительно других СФЗ, средними содержаниями (мг/кг): Li (до 20,3), La (до 42), Rb (до 26,7).

В обрамлении Сибирской платформы, сложенной мраморами, гнейсами, гранитоидами и прочими интрузивными породами «пестрого» состава, отмечаются следующие особенности. В Прибайкальской СФЗ повышены средние содержания Sc (13,1), Yb (5,0), Li (21), Ga (11,9), La (42), Rb (44,4); в Присаянской СФЗ повышены содержания Sc (13,3), Yb (4,1); в Хамар-Дабанской СФЗ повышены содержания Sc (22,6) и понижены Li (10), Rb (1,5); в Байкальской СФЗ понижены содержания Yb (3,1), Li (9,2), Rb (2,4). Корреляция между большинством рассматриваемых элементов отсутствует, кроме пар: Y – с Yb (0,8) и La (0,9) и Yb с La (0,6) и Sc (0,5).

Учитывая небольшие различия значений коэффициентов соответствия в обеих системах (см. табл. 1.1), а также близкие количественные значения содержаний химических элементов во всех компонентах окружающей среды (коренные породы, почвы, донные отложения), можно предполагать, что перераспределение элементов в них происходит за счет естественных природных процессов, без участия (или совсем с незначительным участием) антропогенного фактора. Коэффициент соответствия в системе «почва – коренные породы» более единицы для Sc, Y, Yb колеблются в пределах от 1,1 (Sc) до 13,5 (Yb) и менее единицы – 0,9 (Sc, Rb). Следовательно, в почвах идет слабое концентрирование элементов первой и рассеяние второй групп.

Коэффициенты соответствия в системе донные отложения – почва более единицы – для всех рассматриваемых элементов, кроме Ga и Li. Максимальное накопление в донных отложениях характерно для La и Rb.

Различие средних содержаний элементов в различных типах почв (аллювиальные – гор. А, делювиальные – гор. А и В) во всех структурно-формационных зонах незначительное.

## Глава 2

# РУДНЫЕ И ТОКСИЧНЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ

### 2.1. Уран

Содержания урана увеличиваются от ультраосновных к основным и кислым породам (кларки соответственно – 0,003, 0,5, 3,5 мг/кг). Содержания урана в почвах (кларк по А. П. Виноградову (1957) – 1,0, по Н. J. Bowen – 2,0 мг/кг [Савенко, 2007]) зависят от минералогического состава коренных пород.

На территории Прибайкалья средние (табл. 2.1.) содержания урана составляют: в коренных породах – 1,70, в донных отложениях – 2,76, в почвах – 2,38–3,60 (3,0). Отметим, что средние и особенно максимальные значения (в коренных породах – 20, в донных отложениях – 61,4, в почвах – 32–307 мг/кг) превышают таковые в других районах Сибири [Распределение радиоактивных элементов ..., 2009]. В пределах изученной территории в коренных породах установлены аномалии (с содержанием 3–20 мг/кг) на юго-восточной части площади, на западном Прибайкалье (3–7 мг/кг) и в пределах Сибирской платформы (3–5 мг/кг).

Таблица 2.1

Средние содержания рудных и токсичных химических элементов в различных компонентах окружающей среды Прибайкалья (мг/кг, <sup>137</sup>Cs – Бк/кг)

Хим. элемент	к. п.*	д. о.	п.	Региональный фон			КК		
				к. п.	д. о.	п.	к. п.	д. о.	п.
<b>U</b>	1,70	2,76	3,0	1,30	1,30	1,95	1,31	<b>2,12</b>	<b>1,54</b>
<sup>137</sup> Cs	–	–	27,0	–	–	7,25	–	–	<b>3,72</b>
<b>Th</b>	9,05	8,45	7,5	3,80	6,84	6,18	<b>2,38</b>	1,24	1,21
Zr	25,90	42,5	36,9	–	–	–	–	–	–
<b>Hg</b>	0,011	0,021	0,025	0,01	0,012	0,02	1,0	<b>1,75</b>	1,25
<b>Be</b>	3,0	3,95	3,5	2,0	3,0	3,00	<b>1,50</b>	1,32	1,17
<b>F</b>	460,0	251,0	220,0	245,0	169,0	175,0	<b>1,88</b>	1,49	1,30
Zn	64,0	93,00	85,0	41,0	90,0	87,0	<b>1,56</b>	1,03	0,98
<b>Pb</b>	18,90	13,2	11,3	11,0	10,0	10,0	<b>1,72</b>	1,32	1,13
Cu	36,68	41,9	46,4	29,00	41,0	48,5	1,26	1,02	0,96
Ni	40,10	45,7	42,3	32,0	44,0	42,0	1,25	1,04	1,01
Co	11,90	18,7	16,9	9,0	18,0	17,0	1,32	1,04	0,99
Cr	100,0	110,6	104,0	80,0	111,0	99,0	1,25	1,00	1,05
V	75,0	119,0	113,2	62,0	109,0	112,0	1,21	1,09	1,00
<b>Sr</b>	349,0	321,0	270,0	210,0	303,0	236,50	<b>1,66</b>	1,06	1,14
<b>Mn</b>	780,0	1542,0	1240,0	685,0	945,0	1123,0	<b>2,25</b>	<b>1,63</b>	1,10

\* к. п. – коренные породы, д. о. – донные отложения, п. – почвы.

\*\*КК – отношение среднего содержания к региональному фону.

В донных отложениях аномалии урана (с содержанием 3–13 мг/кг) выделены на западном побережье оз. Байкал, на левобережье р. Селенги (от 3 до 100 мг/кг) и на юго-западной части полигона (2–13 мг/кг). В аллювиальных и делювиальных почвах повышенные содержания урана (2–5,6 мг/кг) фиксируются практически на всей северо-западной, северной и юго-восточной прибрежной части оз. Байкал и по левобережью р. Ангары. Большая часть выявленных аномалий связана с известными месторождениями и рудопроявлениями радиоактивных элементов.

Распределение урана по СФЗ и ландшафтным зонам, а также по типам почв представляется в следующем виде. Наиболее высокие средние содержания урана (в мг/кг) в аллювиальных почвах свойственны для Удино-Витимской (7,41), Прибайкальской СФЗ (3,49) и Юрского угленосного бассейна (2,17); а в делювиальных почвах – лишь для Прибайкальской гор. А (2,76) и В (3,43) (табл. 2.2). В Удино-Витимской СФЗ в аллювиальных почвах уран коррелирует довольно тесно (КК 0,9–0,98) с Ga, Mo, Pb, а также (при КК 0,64–0,77) с Be, V, Co, Cu, Zn, Sn, Y, Yb, B, F; в делювиальных почвах более тесная корреляция (0,87–0,94) с Be, Y, Yb, а также (при КК 0,54–0,65) с V, Cr, Pb, Cu, Mo, La. В других СФЗ уран коррелирует со значительно меньшим числом элементов.

Максимальные средние содержания урана свойственны горно-таежным и среднесибирским равнинно-плоскогорным, таежным ландшафтам (табл. 2.3), а также некоторым разновидностям почв степей и лесостепи, тайги и тундры.

Приведенные результаты распределения урана в окружающей среде Прибайкалья свидетельствуют о широкой распространенности и высокой изменчивости содержания этого элемента в окружающей среде региона, которые зачастую многократно превышают глобальный и региональный фон, а также предельно допустимые концентрации. Выявлены многочисленные участки радиоактивного загрязнения, что требует постановки детальных исследований в таких местах. Результаты работ говорят о двойственном генезисе аномальных полей: природном и техногенном. Техногенная природа аномалий обусловлена деятельностью имеющихся на территории химических комбинатов, а также сжиганием углей Черемховского и Азейского угольных бассейнов, работой ТЭЦ и различного рода котельных.



Таблица 2.2

Параметры распределения урана в почвах различных СФЗ Байкальского региона

Структурно-формационная зона	Число проб	Сод-е, мг/кг	Тип почв*			Корреляция урана с другими элементами		
			Алл., гор. А	Дел., гор. А	Дел., гор. В	Аллювий, гор. А	Делювий, гор. А	Делювий, гор. В
Ангаро-Ленская Ленская подзона	35	Макс. Ср.	2,88 1,62	15,68 1,77	7,52 1,68	Be, Ni, Yb, Y (0,51–0,55)	Ga (053)	Be, Y (0,53–0,56)
Юрский угленосный бассейн	16	Макс. Ср.	3,52 2,17	2,50 1,78	2,60 1,24	Sn, Yb, Ni, Mo, Cu, Li (0,50–0,65)	Rb, F (0,65)	V, Sc, Be, La, Rb, Mo (0,50–0,65)
Присяянская	16	Макс. Ср.	4,04 1,35	3,37 1,09	3,68 0,92	Cu (0,53)	C, Yb, Sn, Cu, Mo (0,51–0,58)	Pb, B, Y, Rb, Cs, Cu (0,52–0,75)
Прибайкальская	13	Макс. Ср.	7,67 3,50	9,25 2,76	8,71 3,42	Cs, Be, Y (0,59–0,61)	Pb, Cs (0,67–0,74)	Mo, Rb, Cs (0,52–0,62)
Байкальская	9	Макс. Ср.	3,99 0,76	3,32 2,06	2,91 0,74	Y, Be, Rb, Cs, Cu, Sn, Cr (0,51–0,76)	Sc, F, Co, Zn, Ga, Rb, Cs, V, C (0,53–0,98)	B, Y, Yb, Cu, F, Pb, Cs (0,61–0,96)
Хамар-Дабанская	15	Макс. Ср.	8,48 0,47	1,62 0,92	1,62 0,88	C, F, Ga, V, Zn (0,55–0,70)	Cr, F, Pb (0,50–0,82)	F, B, Zn, Pb, Cu, Sc, Yb, Y (0,53–0,91)
Удино-Витимская	4	Макс. Ср.	14,31 7,41	3,66 1,67	–	V, Zn, Y, Yb, Co, Cu, F, Be, Sn, Pb, Mo, Ga (0,64–0,98)	Cu, Mo, Pb, V, La, Cr, C Y, Yb, Be (0,54–0,94)	–

\* Алл. – аллювий, Дел. – делювий.

Таблица 2.3

Параметры распределения урана в почвах различных ландшафтных областей Байкальского региона

Ландшафтная область	Число проб	Сод-е, мг/кг	Тип почв*			Корреляция урана с другими элементами		
			Алл., гор. А	Дел., гор. А	Дел., гор. В	Аллювий, гор. А	Делювий, гор. А	Делювий, гор. В
Байкало-Джугджурская горно-таежная	109	Макс. Ср.	6,45 0,86	4,71 1,46	7,28 0,87	У, La (0,53)		V, Rb, Cs (0,58–0,72)
Южно-Сибирская горно-таежная (пихтово-кедровая)	143	Макс. Ср.	37,77 1,72	4,77 1,58	15,17 1,12		У, Yb, La (0,55–0,74)	Cs (0,51)
Южно-Сибирская горно-таежная (сосновая с примесью лиственных)	256	Макс. Ср.	3,07 2,68	15,68 0,56	6,29 0,40			Cs (0,75)
Средне-Сибирская равнинно-платообразная, таежная	16	Макс. Ср.	3,80 2,16	3,37 1,50	3,08 1,44	Cr, La, F (0,50–0,77)	La, Rb, F (0,52–0,69)	Ni, V, Yb, Cs, F (0,52–0,57)
Южно-Сибирская плоскогорная, лесостепная (ангарская лесостепь)	37	Макс. Ср.	3,49 1,95	2,79 1,02	2,38 0,98	Li, Cs, Sc (0,59–0,68)	Zn, Cs (0,60)	Be, V, Y, La, Cs, F (0,51–0,74)
Западно-Забайкальская (даурская степь)	59	Макс. Ср.	14,76 1,20	10,48 1,39	3,18 0,99		F (0,58)	Cs (0,72)
Онон-Аргунская степная (высоких равнин и денудационных плато)	35	Макс. Ср.	3,39 1,86	9,31 1,54	2,40 1,24			V, Cs, Cu, Li, F, Cr (0,51–0,71)

\* Алл. – аллювий, Дел. – делювий.

## 2.2. Торий

Кларк тория в верхней континентальной коре по А. П. Виноградову (1957) составляет 13 мг/кг, а по С. Р. Тейлору и С. М. Мак-Леннану (1988) – 10,7 мг/кг. Содержание тория растет от ультраосновных пород (0,08 мг/кг) к основным (1,8 мг/кг), средним и кислым (8,3–25 мг/кг) [Смыслов, 1974]. В осадочных породах повышенные содержания тория отмечаются в кварцевых конгломератах, углеродисто-глинисто-кремнистых горючих сланцах. Среднее содержание тория в почвах составляет 13 мг/кг [Виноградов, 1950] и 10,7 мг/кг по С. Р. Тейлору и С. М. Мак-Леннану (1988). Повышенные содержания тория в целом характерны для щелочных серий магматических пород.

В пределах Байкальского полигона среднее содержание тория составляет (мг/кг): в коренных породах – 9,05, в донных отложениях – 8,45, в почвах – 7,16–7,93 [Распределение радиоактивных элементов ..., 2010].

В коренных породах максимальное содержание тория составляет 97 мг/кг, распределение по площади соответствует особенностям геологического строения региона. Область повышенного содержания свойственна полям развития субщелочных и щелочных гранитоидных пород различных комплексов и возрастов по периметру оз. Байкал. Также выделяется несколько аномальных участков в юго-восточной части региона, образующих вытянутые зоны, соответствующие известным металлогеническим поясам. Пониженное относительно фона содержание характерно для карбонатно-терригенных отложений Сибирской платформы, околочное – для терригенных угленосных пород Иркутского бассейна.

Распределение аномальных полей тория во всех типах почв и донных отложений аналогично таковому для урана и тория в коренных породах. Максимальные содержания образуют поля вдоль северо-западного и юго-восточного обрамления оз. Байкал, а также в районах истока р. Ангары, г. Зима и пос. Усть-Ордынский. Лишь в районе западнее г. Улан-Удэ в участках с максимальным содержанием урана в аллювиальных почвах отсутствуют повышенные концентрации тория. Причина этого не установлена. Содержание тория в почвах в пределах восточной прибрежной полосы оз. Байкал составляют 3,80–25,14 (среднее 20,62 мг/кг).

## 2.3. <sup>137</sup>Цезий

Удельная активность <sup>137</sup>Cs в гумусовом горизонте почв меняется более чем на два с половиной порядка [Распределение радиоактивных элементов ..., 2010]. При этом доля образцов с аномальными значениями

ми, превышающими региональный фон в 3 раза и более, составляет не менее 45 %. Их основная масса сосредоточена в полосе, протягивающейся от северной оконечности оз. Байкал вдоль Байкальского и Приморского хребтов на юго-запад до пос. Кырен и далее вдоль южного и восточного побережья Байкала. В северо-восточной и юго-западной частях региона также фиксируются зоны проявления повышенных удельных активностей  $^{137}\text{Cs}$ . Плотность выпадений  $^{137}\text{Cs}$  на загрязненных территориях составляет 100–200 Ки/км<sup>2</sup> [Радиационное воздействие ..., 2005], а содержание  $^{137}\text{Cs}$  в гумусовом гор. А достигает в отдельных местах 426 Бк/кг при геохимическом фоне 10 Бк/кг. Наиболее высокие значения удельных активностей  $^{137}\text{Cs}$  в делювиальных почвах обнаружены в районе г. Байкальска (351,5 Бк/кг), на северо-западном побережье оз. Байкал (222,3–333,3 Бк/кг) и в северной части площади полигона (425,9 Бк/кг). Удельные активности  $^{137}\text{Cs}$  до 407,4 Бк/кг отмечены также в аллювиальных почвах района г. Северобайкальска и несколько южнее. Следует также отметить, что удельные активности  $^{137}\text{Cs}$  в активных речных осадках достигают 98,8 Бк/кг, а в донных осадках оз. Байкал – 33,6–66,6 Бк/кг [Баранов, Титаева, 1973]. Полагают, что источником загрязнения  $^{137}\text{Cs}$  является преимущественно трансрегиональный перенос и местные объекты повышенной радиации [Медведев, Коршунов, Черняго, 2005].

## 2.4. Цирконий

Средние содержания радиоактивного элемента циркония в Прибайкалье составляют (мг/кг): в коренных породах – 25,9, в почвах – 35,8–39,1 (среднее – 36,9), в донных отложениях – 42,5. Данные значения почти на порядок меньше кларка для кислых и осадочных пород (200) и почв (300).

## 2.5. Ртуть

Кларк ртути в земной коре колеблется от  $8,3 \times 10^{-6}$  до  $3,0 \times 10^{-6}$  % [Сауков, Айдиньян, Озерова, 1972, Справочник по геохимии, 1990]. По данным Н. А. Озеровой [Там же], содержания ртути в ультрабазитах составляют  $1,9 \times 10^{-6}$  %, в основных породах и гранитоидах –  $3,0 \times 10^{-6}$  %. Содержания ртути в различных типах осадочных пород не имеют существенных различий: в песчаниках и алевролитах –  $3,9 \times 10^{-6}$  %, глинах –  $3,5 \times 10^{-6}$  %, карбонатных породах –  $3,1 \times 10^{-6}$  %. Однако для осадочных углистых образований (горючие сланцы и угли) часто характерны повышенные содержания ртути (до  $50 \times 10^{-6}$  %), что объясняется средообразующей и барьерной функциями органического вещества углеродистых

осадков. В почвах различных стран содержания ртути колеблются в широких пределах  $(0,4-580) \times 10^{-6} \%$ , при средних значениях  $(2-40) \times 10^{-6} \%$ . В загрязненных ртутью районах содержание ее достигает  $4,0 \times 10^{-3} \%$  [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989]. Кларк ртути в почвах  $1,0 \times 10^{-6} \%$  [Виноградов, 1980]. Предельно допустимое содержание ртути в почвах составляет  $2,1 \times 10^{-4} \%$  [Методические указания, 1987].

В пределах Южного Прибайкалья средние содержания ртути составляют: в коренных породах –  $1,1 \times 10^{-6} \%$ , в донных отложениях –  $2,14 \times 10^{-6} \%$ , в почвах –  $(1,69-2,89) \times 10^{-6} \%$  [Ртуть в окружающей..., 2008].

В коренных породах максимальная концентрация ртути составляет  $14,0 \times 10^{-6} \%$ , а региональный фон –  $0,4 \times 10^{-6} \%$ . Распределение концентраций элемента по площади зависит от особенностей геологического строения и состава пород. Область повышенных содержаний ртути широкой полосой (до 100 км) протягивается от истока р. Ангары (от оз. Байкал) на северо-запад до г. Зимы и далее. Остальная территория полигона (примерно 50 % площади) характеризуется фоновыми и ниже фона концентрациями ртути  $(0,2-1,0) \times 10^{-6} \%$ . Это район Сибирской платформы (села Баяндай – Качуг), восточное и западное побережье Байкала и Западное Забайкалье.

В донных отложениях содержания ртути колеблются в пределах  $(0,1-20) \times 10^{-6} \%$ , а среднее значение в донных отложениях оз. Байкал –  $6,9 \times 10^{-6} \%$ . Повышенные содержания расположены в полосе северо-западного направления (от оз. Байкал по левобережью р. Ангары до г. Зимы и вдоль северо-западного и юго-восточного побережья оз. Байкал).

В почвах содержания ртути колеблются в пределах  $(0,1-240) \times 10^{-6} \%$ , в среднем составляя  $(1,69-2,89) \times 10^{-6} \%$ . Региональный фон ртути равен кларку.

Наиболее высокие средние содержания ртути в почвах всех морфологических типов свойственны для Удино-Витимской, Прибайкальской и Присяянской СФЗ, а также для Юрского угленосного бассейна (делювиальные почвы гор. А и В) и Ангаро-Ленской СФЗ. Закономерность в корреляционных связях ртути с другими элементами не обнаруживается, хотя в различных зонах отмечается тенденция ее корреляции с некоторыми элементами (табл. 2.4).

Максимальные средние содержания ртути приходятся на Байкало-Джугджурские горно-таежные и Средне-Сибирские равнинно-плоскогорные (делювиальные почвы) ландшафтные зоны. В различных ландшафтных зонах ртуть коррелирует ( $КК = 0,5-1,0$ ) с одним или пятью элементами в различных их сочетаниях (табл. 2.5).

Наиболее высокие средние содержания ртути свойственны для почв горных территорий (аллювиальные почвы) и дерново-карбонатных почв (делювиальные почвы). В каждом типе почв ртуть коррелирует ( $КК = 0,5-1,0$ ) практически со всеми элементами в разных их сочетаниях.

Таблица 2.4

Параметры распределения ртути в почвах различных СФЗ Байкальского региона

Структурно-формационная зона	Чис-ло проб	Сод-ие, мг/кг	Тип почв*			Корреляция ртути с другими элементами		
			Алл., гор. А	Дел., гор. А	Дел., гор. В	Аллювий, гор. А	Делювий, гор. А	Делювий, гор. В
Ангаро-Ленская Ленская подзона	35	Макс. Ср.	0,200 0,013	0,900 0,016	0,070 0,022	–	–	–
Юрский угленосный бассейн	14	Макс. Ср.	0,050 0,013	0,040 0,019	0,043 0,015	Sn, Rb, Be, Yb (0,56–0,83)	B, Cs, Pb, Cr (0,50–0,90)	Ag, Pb (0,50–0,79)
Присяянская	16	Макс. Ср.	0,070 0,022	0,060 0,024	0,045 0,019	(Li, La, Be, Yb) (0,56–0,67)	Rb, Ni, Sn, Cs, Li, Co, Ga, F, Be (0,51–0,69)	Yb, Y, Co, Cu, V (0,53–0,58)
Прибайкальская	13	Макс. Ср.	0,090 0,019	0,112 0,027	0,070 0,022	V, Mo, Co, Ag (0,53–0/94)	Cs, Co (0,51–0,82)	Mo, Be (0,52–0,58)
Байкальская	9	Макс. Ср.	0,050 0,017	0,040 0,018	0,040 0,018	Co, La, Li, F (0,52–0,69)	La, Cu, Mo, B, Pb, Cr, Ni (0,60–0,94)	Ni, Co, Zn, Sn, La, Pb (0,50–0,72)
Хамар-Дабанская	15	Макс. Ср.	0,075 0,016	0,040 0,008	0,028 0,008	Co, Y, Yb, Mo, Sn, Ni, Be, Li (0,53–0,77)	Cu, C (0,51–0,61)	Ni, Yb, Pb (0,53–0,68)
Удино-Витимская	4	Макс. Ср.	0,040 0,026	0,120 0,032	0,014 0,010	Li, F, Sn, B, Pb, Be, V, Zn, Y, Yb (0,51–0,85)	Co, Y, Yb, Mo, La, Li (0,51–0,98)	–

\* Алл. – аллювий, Дел. – делювий.



Таблица 2.5

Параметры распределения ртути в почвах различных ландшафтных областей  
Байкальского региона

Ландшафтные области	Число проб	Сод-ие, мг/кг	Тип почв*		
			Алл., гор. А	Дел., гор. А	Дел., гор. В
Байкало-Джугджурская горно-таежная	109	Макс. Ср.	0,600 0,023	0,085 0,019	0,090 0,011
Южно-Сибирская горно-таежная (пихтово-кедровая)	133	Макс. Ср.	0,150 0,021	0,230 0,027	0,012 0,020
Южно-Сибирская горно-таежная (сосновая с примесью лиственных)	126	Макс. Ср.	0,200 0,018	0,112 0,019	0,010 0,013
Средне-Сибирская равнинно-платообразная, таежная	11	Макс. Ср.	0,070 0,018	0,050 0,027	0,060 0,021
Южно-Сибирская плоскогорная, лесостепная (ангарская лесостепь)	23	Макс. Ср.	0,060 0,021	0,080 0,017	0,060 0,016
Западно-Забайкальская (даурская степь)	56	Макс. Ср.	2,400 0,019	0,060 0,019	0,060 0,018
Онон-Аргунская степная (высоких равнин и денудационных плато)	18	Макс. Ср.	0,140 0,020	0,080 0,018	0,045 0,017

\* Алл. – аллювий, Дел. – делювий.

Область повышенных содержаний ртути во всех рассматриваемых компонентах окружающей среды в виде широкой полосы, протягивающейся по левобережью р. Ангары, от оз. Байкал до г. Зимы и далее, представляет собой Ангаро-Ленскую СФЗ, сложенную преимущественно карбонатно-глинистыми породами (верхний рифей), карбонатно-галогенно-гипсоносными породами, песчаниковыми отложениями (венд-палеозой) и юрскими породами Иркутского угленосного бассейна – алевролитами, конгломератами, песчаниками, углями. Повышение содержаний ртути в этой области связано с угленосными породами, а также, возможно, отражает зону глубинного разлома, фиксируемого руслом Ангары. Кроме того, источниками ртути являются расположенные в этой зоне промышленные предприятия ООО «Усольехимпром» (г. Усолье-Сибирское), ООО «Саянскхимпласт» (г. Зима) и другие как техногенные, так и природные источники.

Уместно отметить, что локализация ртутной минерализации в зонах молодых разломов (западное побережье оз. Байкал, Баргузинская, Верхнее-Ангарская и другие впадины Байкальской рифтовой зоны) свидетельствует о кайнозойском возрасте ртутных руд и их связи с поступлением паров ртути по глубинным сейсмогенерирующим разломам из подкорковых источников [Кандер, 1969, Геохимическая активность разломов ..., 2006].

## 2.6. Фтор

Среднее содержание фтора в земной коре по А. П. Виноградову (1950) составляет 660 мг/кг, по Тейлору и С. М. Мак-Леннану (1988) – 625 мг/кг. Относительно повышенные содержания фтора (800 мг/кг) характерны для кислых пород (гранитоидов), низкие содержания фтора отмечены в каменных метеоритах и ультраосновных породах. В осадочных породах содержание фтора составляет 500 мг/кг. Наиболее обогащены фтором глинистые породы (700–1300 мг/кг), а минимальные содержания свойственны для песчаников – 270 мг/кг. Среднее содержание фтора в почвах составляет 320 мг/кг, кларк 200 мг/кг [Виноградов, 1950], ПДК – 400 мг/кг [Методические указания по оценке ..., 1987].

Распределение фтора в пределах Байкальского региона характеризуется следующими особенностями. Средние концентрации фтора составляют (мг/кг): в коренных породах – 460, в донных отложениях – 251, в почвах – 178–257 (см. табл. 2.1). Участки с повышенными концентрациями фтора (300–8 000 мг/кг и более) в коренных породах расположены в районе г. Улан-Удэ и продолжают к юго-западу и северо-востоку от него, занимая западную часть двух СФЗ – Джиды-Витимской и Удино-Витимской в южной оконечности оз. Байкал (Присянская СФЗ). Область пониженных содержаний фтора широкой полосой (до 100 км) протягивается от истока р. Ангары и вдоль нее на северо-запад до г. Зимы и далее. Наиболее высокие содержания фтора в донных отложениях (300–6 000 мг/кг) зафиксированы в юго-восточной части полигона, в районе участка р. Селенги – г. Улан-Удэ, а также в западной части площади, в виде прерывистой полосы от южной части оз. Байкал на северо-запад.

Максимальные средние содержания фтора во всех морфологических типах почв свойственны для Удино-Витимской и Хамар-Дабанской СФЗ (табл. 2.6). Несколько ниже средние содержания характерны для Байкальской и Ангаро-Ленской СФЗ в аллювиальных почвах и Присянской СФЗ в делювиальных почвах гор. В некоторых типах почв (серые лесные) содержания фтора достигают 500 мг/кг.

Корреляция фтора с каким-либо постоянным составом элементов во всех СФЗ отсутствует, хотя в каждом из них устанавливается от 1 до 11 различных коррелируемых элементов.

Наиболее высокие средние содержания фтора фиксируются преимущественно в горно-таежных и южно-сибирских, а также средне-сибирских плоскогорных ландшафтных зонах (табл. 2.7).

Таблица 2.6

## Параметры распределения фтора в почвах различных СФЗ Байкальского региона

Структурно-формационная зона	Число проб	Сод-ие, мг/кг	Тип почв*			Корреляция фтора с другими элементами		
			Алл., гор. А	Дел., гор. А	Дел., гор. В	Аллювий, гор. А	Делювий, гор. А	Делювий, гор. В
Ангари-Ленская Ленская подзона	35	Макс. Ср.	500 134	600 133	900 102	-	-	-
Юрский угленосный бассейн	14	Макс. Ср.	400 75	300 132	800 98	Co, B, Sn, Be, Hg, Rb, Cs (0,50–1,00)	Co, Ni, Rb, Sn, U (0,52–0,66)	Mo, Rb, Sc (0,50–0,72)
Присаянская	16	Макс. Ср.	400 125	200 86	500 137	Pb, Sn, Mo, Sc, Cu, Rb, Cs (0,52–0,77)	Be, Ga, Li, Hg, Cs, Rb (0,51–0,92)	Y, Zn, Sc, Cs (0,50–0,76)
Прибайкальская	13	Макс. Ср.	500 108	500 102	500 121	V, Cu, Zn, Cs (0,53–0,72)	Cu, Zn, Mo (0,55–0,70)	Cu (0,53)
Байкальская	9	Макс. Ср.	300 139	300 114	300 125	Cu, Yb, Rb, Cs, Mo, Ga, La, Hg, C (0,51–0,92)	V, U, C, Cu (0,52–,67)	Y, Yb, Co, Cu, U, Cs, Rb (0,66–0,97)
Хамар-Дабанская	15	Макс. Ср.	300 173	1000 121	800 264	U, Cr, C, Cu, V (0,56–0,72)	Be, V, U, Sn, Co, Cr, Cu (0,52–0,78)	Zn, U, B, La, Y, Yb, Be (0,50–0,92)
Удино-Витимская	4	Макс. Ср.	300 200	800 186	200 133	Mo, Hg, V, Zn, Y, Yb, U, Ga, Be, Sn (0,5–1,0)	V, Cr, Pb, Ni, Co, La, C, Cu (0,51–0,79)	

\* Алл. – аллювий, Дел. – делювий.

Таблица 2.7

Параметры распределения фтора в почвах различных ландшафтных областей Байкальского региона

Ландшафтные области	Чис-ло проб	Сод-ие, мг/кг	Тип почв			Корреляция фтора с другими элементами		
			Алл., гор. А	Дел., гор. А	Дел., гор. В	Аллювий, гор. А	Делювий, гор. А	Делювий, гор. В
Байкало-Джугджурская горно-таежная	109	Макс. Ср.	800 176	2000 289	800 163	-	-	-
Южно-Сибирская горно-таежная (пихтово-кедровая)	143	Макс. Ср.	800 140	2000 156	1000 143	-	-	-
Южно-Сибирская горно-таежная (сосновая с примесью лиственных)	256	Макс. Ср.	800 185	300 240	2000 201	-	-	-
Средне-Сибирская равнинно-платообразная, таежная	16	Макс. Ср.	300 154	600 226	800 314	V, La, U (0,50–0,60)	Ag, Rb, U (0,53–0,77)	U (0,54)
Южно-Сибирская плоскогорная, лесостепная (ангарская лесостепь)	37	Макс. Ср.	600 188	500 239	1000 170	Cs, Hg (0,54–0,68)	-	Cs, U (0,54–0,61)
Западно-Забайкальская (даурская степь)	59	Макс. Ср.	600 146	2000 143	1500 141	-	U (0,58)	-
Онон-Аргунская степная (высоких равнин и денудационных плато)	35	Макс. Ср.	400 200	600 251	800 138	Mo, B, Hg (0,50–0,58)	-	Cu, Li, Ag, Cs, U (0,51–0,58)

\* – Алл. – аллювий, Дел. – делювий.

## 2.7. Свинец

Для различных геосфер твердой оболочки земли кларковые содержания свинца существенно изменяются (мг/кг): в верхней континентальной коре – 20, в средней – 8, нижней – 4, примитивной мантии – 1,2 [Справочник по геохимии, 1990]. Концентрации свинца в верхних горизонтах почв различных стран мира колеблются в пределах 3–189 мг/кг, среднее значение по типам почв – 10–67 мг/кг при общем содержании – 32 мг/кг. Средняя концентрация свинца в поверхностном слое почв в глобальном масштабе составляет 25 мг/кг, а верхний предел в нормальных почвах – 70 мг/кг [Тейлор, Мак-Леннан, 1988]. Однако кларковые его содержания в почвах, по данным А. П. Виноградова (1950) и Д. П. Малюги (1963), равны миллиграммам на 1 кг, а ПДК – 32 мг/кг [Методические указания по оценке ..., 1987].

В пределах Байкальского полигона распределение свинца в различных природных средах следующие (мг/кг): в коренных породах среднее содержание – 18,9, максимальное – 150, при региональном фоне – 11; в донных отложениях среднее содержание 13,2, максимальное, как и в коренных породах – 150; в почвах – среднее 11,0–11,6, максимальное – 100, т. е. превышает фоновые в 4–10 раз, а ПДК в 1,1–3 раза.

Распределение этого элемента в коренных породах полигона отражает их составы (магматические, осадочные), подчеркивая существенные различия в геохимических полях свинца в платформенной части полигона и его складчатом обрамлении. Повышенные содержания свинца характерны для восточной части полигона, где развиты субщелочные гранитоиды Ангаро-Витимского батолита, а также для гранитоидов юго-восточной части (Хамар-Дабанская и Присяянская СФЗ) и для гранитоидов западного побережья оз. Байкал. Осадочные породы (карбонаты, песчаники и сланцы) платформенной части полигона отличаются преимущественно низкими содержаниями свинца (иногда ниже регионального фона).

В донных отложениях слабоаномальные содержания свинца (10–24 мг/кг) приурочены к широкой полосе вдоль р. Ангары и в виде локальных пятен в южной части Юго-Западного, в прибрежной части Северо-Восточного и Юго-Восточного Прибайкалья. Максимальные концентрации этого элемента (24–109 мг/кг) образуют локальные пятна в пределах слабо аномальных полей.

В почвах несколько повышенные средние содержания свинца (более 10 мг/кг) свойственны для всех морфологических типов Удино-Витимской, Байкальской и Присяянской СФЗ (табл. 2.8). Комплекс коррелируемых со свинцом элементов в каждой СФЗ и даже в одной СФЗ, но в разных морфологических типах, различен. Во всех ландшафтных зонах средние содержания свинца практически одинаковы (табл. 2.9). Не фиксируется особенных различий в содержаниях свинца и в различных типах почв.

Таблица 2.8

Параметры распределения свинца в почвах различных СФЗ Байкальского региона

Структурно-формационная зона	Число проб	Сод-ие, мг/кг	Тип почв*			Корреляция свинца с другими элементами		
			Алл., гор. А	Дел., гор. А	Дел., гор. В	Аллювий, гор. А	Делювий, гор. А	Делювий, гор. В
Ангаро-Ленская Ленская подзона	35	Макс. Ср.	20,0 8,31	10,0 7,84	20,0 8,56	Ni, Co, Sc, Be, Cs, Sn (0,61–0,68)	Ga, Sn, Zn (0,53–0,61)	Cu, Ga (0,60 – 0,66)
Юрский угленосный бассейн	14	Макс. Ср.	15,0 8,10	30,0 11,07	30,0 10,19	Ni, Ag, Yb, B, Zn (0,53–0,60)	Cs, Cr, Hg (0,64–0,84)	Ag, Sn, Hg (0,61–0,79)
Присяянская	16	Макс. Ср.	20,0 12,69	30,0 11,14	15,0 10,33	Ag, F, Zn, Sn (0,52–0,65)	–	V, Co, U, Ni, Be, Cu (0,51–0,64)
Прибайкальская	13	Макс. Ср.	20,0 10,25	15,0 8,40	20,0 9,31	Ga, Yb, Cu, Cr, Sc, Sn (0,50–0,65)	Cr, Ga, Ni, Be, Co, U, Zn, Y, Yb, Sn (0,51–0,83)	Yb (0,52)
Байкальская	9	Макс. Ср.	30,0 16,22	30,0 14,71	20,0 12,33	C, U, Zn (0,62–0,70)	Zn, Sc, B, Hg, Sn, Ni, Mo (0,57–0,82)	Li, Cr, Yb, Y, V, Ni, Hg, B (0,53–0,83)
Хамар-Дабанская	15	Макс. Ср.	20,0 10,33	15,0 10,21	15,0 10,86	Li, Ga, C (0,55–0,64)	U (0,82)	La, Ni, Yb, Hg, U, Y (0,57–0,68)
Удино-Витимская	4	Макс. Ср.	20,0 16,25	20,0 17,50	15,0 11,67	Cr, Ni, Hg, Cu, F, Ga, Sn, Mo, U, V, Zn, Y, Yb, Be (0,52–0,94)	F, La, U, Be, Cu, Co, Ni (0,51–0,94)	–

\* – Алл. – аллювий, Дел. – делювий.

Таблица 2.9

Параметры распределения свинца в почвах различных ландшафтных областей Байкальского региона

Ландшафтная область	Число проб	Сод-ие, мг/кг	Тип почв*			Корреляция свинца с другими элементами		
			Алл., гор. А	Дел., гор. А	Дел., гор. В	Аллювий, гор. А	Делювий, гор. А	Делювий, гор. В
Байкало-Джугджурская горно-таежная	109	Макс. Ср.	40,0 11,74	30,0 9,83	30,0 10,42	Be, Sn (0,55)	–	–
Южно-Сибирская горно-таежная (пихтово-кедровая)	143	Макс. Ср.	30,0 11,06	20,0 9,40	30,0 10,27	Be, Sn (0,53)	–	–
Южно-Сибирская горно-таежная (сосновая с примесью лиственных)	256	Макс. Ср.	80,0 10,96	100,01 0,15	60,0 10,68	Be (0,65)	Ag (0,54)	–
Средне-Сибирская равнинно-платообразная, таежная	16	Макс. Ср.	20,0 13,18	20,0 10,25	30,0 13,18	Be, Y, Sn, Ga, Sc (0,55–0,64)	Be, Sn (0,52)	Be, Cu, Sn, Ag (0,52–0,93)
Южно-Сибирская плоскогорная, лесостепная (ангарская лесостепь)	37	Макс. Ср.	20,0 8,39	30,0 9,89	15,0 8,53	Be, Ni, Co, Sn, La, Ag, Ga, (0,51–0,69)	Sn (0,50)	V, Co, Zn, Ga (0,51–0,71)
Западно-Забайкальская (даурская степь)	59	Макс. Ср.	80,0 13,38	20,0 9,29	20,0 9,88	–	Rb (0,51)	Ga (0,62)
Онон-Аргунская степная (высоких равнин и денудационных плато)	35	Макс. Ср.	15,0 5,92	20,0 9,17	20,0 10,55	V, Sc (0,50)	Be, Zn, Y, Ga, (0,53–0,68)	–

\* Алл. – аллювий, Дел. – делювий.



## 2.8. Бериллий

Кларковые содержания бериллия в земной коре составляют 2 мг/кг [Иванов, 1997]. В верхней континентальной коре его содержание – 3, в нижней – 1 мг/кг [Тейлор, Мак-Леннан, 1988]. В осадочных породах повышенные содержания бериллия характерны для сланцев (3 мг/кг). Кларковые содержания бериллия в почвах – 6 мг/кг [Виноградов, 1950], ПДК для почв – 10 мг/кг [Брукс, 1986].

В Прибайкалье средние содержания бериллия составляют (мг/кг): в коренных породах – 3, в донных отложениях – 3,95, в почвах – 3,42. Региональный фон – 2 мг/кг (см. табл. 2.1).

В коренных породах повышенные содержания бериллия (3–100 мг/кг) довольно равномерно распространены по площади полигона и приурочены преимущественно к субщелочным гранитоидным породам складчатого обрамления и сланцам платформенной части полигона. Пониженные содержания отражают места расположения карбонатных пород.

В донных отложениях максимальные содержания бериллия – 20 мг/кг. Минимально-аномальные его содержания (3–6 мг/кг) более отчетливо, чем по коренным породам, отмечаются в районах северо-западного и юго-восточного обрамления оз. Байкал, где преобладают гнейсограниты и граниты.

В почвах аллювиальных отложений более высокие средние содержания бериллия свойственны для четырех СФЗ: Прибайкальской, Ангаро-Ленской (Юрский угленосный бассейн), Присаянской и Прибайкальской (соответственно (мг/кг): 3,63, 3,59, 3,55, 3,45); в почвах делювиальных отложений (гор. А) – в Ангаро-Ленской (Юрский угленосный бассейн) и Байкальской СФЗ; в почвах делювиальных отложений (гор. В) в Прибайкальской СФЗ. Корреляция бериллия фиксируется в каждой СФЗ с различными элементами, максимальное количество которых достигает 12. Наиболее часто фиксируются Sn, Y, Yb (табл. 2.10). Корреляционные связи с различными элементами, по-видимому, являются случайными.

Максимальные средние содержания бериллия практически во всех типах почв свойственны для горно-таежных (сосновые с примесью лиственных) и средне сибирских равнинно- плоскогорных ландшафтов (табл. 2.11). Несколько повышенные содержания бериллия (до 8 мг/кг) характерны для темно-серых лесных, дерновых лесных и горно-луговых аллювиальных почв; черноземов карбонатных, аллювиальных дерново-луговых, подбуров делювиальных почв гор. А и серых лесных делювиальных почв гор. В (до 10 мг/кг).

Таблица 2.10

Параметры распределения бериллия в почвах различных СФЗ Байкальского региона

Структурно-формационная зона	Число проб	Сод-ие, мг/кг	Тип почв*			Корреляция бериллия с другими элементами		
			Алл., гор. А	Дел., гор. А	Дел., гор. В	Аллювий, гор. А	Делювий, гор. А	Делювий, гор. В
Ангаро-Ленская Ленская подзона	35	Макс. Ср.	5,0 2,13	5,0 2,97	10,0 3,01	U, Ni, Y, Cs, Pb, Co, Yb, Sn (0,51–0,75)	Yb, Y, Sc, V (0,56–0,61)	Sn, U (0,50–0,53)
Юрский угленосный бассейн	14	Макс. Ср.	5,0 3,59	5,0 3,43	5,0 2,82	Co, Ni, B, Cs, F, Rb, Yb (0,58–0,70)	Co (0,51)	Sc, Cu, Yb, U, La, Rb, Ga, Sn, Co (0,51–0,73)
Присянская	16	Макс. Ср.	5,0 3,55	4,0 2,57	4,0 3,25	Cs, Yb, Rb, Mo, Li, Hg (0,50–0,66)	F, Li, Ni, Sn, Co, Hg (0,51–0,69)	Ni, Pb, Zn, Sc, Co (0,58–0,70)
Прибайкальская	13	Макс. Ср.	8,0 3,63	5,0 2,80	6,0 3,56	La, Mo, Rb, U, Co, V, Sc, Sn, Y, Yb (0,53–0,79)	Yb, Pb, Mo, Cr, Co, Ni, La, Y, Ga, Sn (0,57–0,84)	Zn, Cr, Hg, Sc, Sn, V, Ni, Co (0,52–0,79)
Байкальская	9	Макс. Ср.	6,0 3,45	5,0 3,29	4,0 3,17	U, Sn (0,55–0,67)	La, Sn (0,51–0,59)	Mo, Sn, V, Y, Yb, La, Li, Sc (0,54–0,82)
Хамар-Дабанская	15	Макс. Ср.	5,0 2,70	4,0 3,14	4,0 3,29	C, Cu, Sn, Sc, Mo, Li, Co, Y, Ni, Hg, (0,60–0,81)	Sn, Co, V, F, Sc, La, Ni, Yb, Y, C (0,50–0,89)	Cr, Yb, Ni, La, F (0,55–0,92)
Удино-Витимская	4	Макс. Ср.	5,0 3,31	5,0 3,08	4,0 3,33	Cu, Mo, Hg, U, Ga, V, Y, Zn, Yb, P (0,50–0,95)	Mo, V, Cr, Pb, Cu, La, Y, Yb, U (0,54–0,94)	

\* Алл. – аллювий, Дел. – делювий.

Таблица 2.11

Параметры распределения бериллия в почвах различных ландшафтных областей Байкальского региона

Ландшафтная область	Число проб	Содержание, мг/кг	Тип почв*			Корреляция бериллия с другими элементами		
			Алл., гор. А	Дел., гор. А	Дел., гор. В	Аллювий, гор. А	Делювий, гор. А	Делювий, гор. В
Байкало-Джугджурская горно-таежная	109	Макс. Ср.	10,0 2,58	6,0 2,86	8,0 3,01	Co, Pb, Sn, Yb, La, Ga, Sc (0,58–0,62)		Ni, Zn, Sn, La, Sc (0,50–0,63)
Южно-Сибирская горно-таежная (пихтово-кедровая)	143	Макс. Ср.	8,0 2,74	30,0 2,70	13,0 3,11	Pb, Sn (0,53–0,58)	Sn, Yb, La (0,50–0,65)	La (0,60)
Южно-Сибирская горно-таежная (сосновая с примесью лиственных)	256	Макс. Ср.	9,0 2,77	10,0 3,14	10,0 2,95	Pb, Sn, Cs, Sc (0,50–0,73)		La (0,58)
Средне-Сибирская равнинно-платообразная, таежная	16	Макс. Ср.	6,0 3,77	6,0 3,08	5,0 3,36	Pb, Mo, Rb, Sc (0,52–0,63)	Pb, Sn, La, Ag (0,52–0,70)	Co, Pb, B, Rb (0,52–0,70)
Южно-Сибирская плоскогорная, лесостепная (ангарская лесостепь)	37	Макс. Ср.	5,0 1,89	5,0 2,65	5,0 2,72	V, Ni, Co, Pb, Zn, Sn, Yb, La, Rb, Cs, Sc (0,51–0,86)	Cu, Y, Yb (0,53–0,58)	V, Y, Yb, Cs, U (0,56–0,73)
Западно-Забайкальская (даурские степь)	59	Макс. Ср.	6,0 2,74	6,0 3,31	8,0 3,12	Co, Sn, La, Sc (0,51–0,66)	La (0,60)	
Онон-Аргунская степная (высоких равнин и денудационных плато)	35	Макс. Ср.	3,0 1,56	6,0 2,97	5,0 2,59	Co, Cu, Li, Yb, Sc (0,51–0,66)	Pb, Y, Yb, La, Ga (0,54–0,68)	Ga, Ag (0,53–0,56)

\* Алл. – аллювий, Дел. – делювий.

## 2.9. Цинк

Кларк цинка в земной коре – 80 мг/кг. Он довольно широко распространен в основных, щелочных и средних магматических горных породах. Осадочные породы разного состава более различаются по содержанию цинка, чем магматические. Низкие содержания характерны для песчаников и известняков (0,0016–0,0022 %), повышенные – для граувакков и сланцев (48–95 мг/кг), а особенно высокие – для глубоководных осадков – до 200 мг/кг [Иванов, 1996; Овчинников, 1990]. Содержания цинка в поверхностных слоях почв различных стран мира колеблются в пределах 17–125 мг/кг, относительно высокие содержания характерны для известковых почв Южного Китая – 54–57 мг/кг [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989]. Кларковые содержания цинка в почвах составляют 50 мг/кг [Виноградов, 1950], ПДК – 110 мг/кг [Иванов, 1996].

В пределах Байкальского полигона распределение цинка характеризуется следующими особенностями. Средние содержания цинка составляют (мг/кг): в коренных породах – 64, в донных отложениях – 93, в почвах – 83–92 (см. табл. 2.1).

В коренных породах региональный фон цинка в среднем примерно в 2 раза ниже кларка (41 мг/кг) для земной коры. Относительно повышенные его содержания (до 400 мг/кг) приурочены к двум структурно-формационным зонам, расположенным с западной стороны оз. Байкал – Присянской и Прибайкальской. Здесь преобладают древние породы архейского и протерозойского возраста, образующие фундамент Сибирской платформы. На остальной территории полигона, включая восточное и западное побережье оз. Байкал, содержания цинка низкие или близки к региональному фону.

В донных отложениях среднее содержание цинка составляет 93 мг/кг, при максимальных значениях 400 мг/кг. Практически на всей территории Байкальского полигона его содержания колеблются от 70 до 170 мг/кг. Слабо повышенные концентрации (120–150 мг/кг) отмечены в виде локальных пятен в районах городов Иркутска, Шелехова, Ангарска, Усолья-Сибирского, Северобайкальска. Минимальные содержания (ниже 7 мг/кг) образуют отдельные пятна в южной части Сибирской платформы.

Средние содержания цинка в почвах во всех СФЗ практически близки, лишь незначительно повышены (около 100 мг/кг) в Удино-Витимской – во всех морфологических типах, Присянской, Прибайкальской СФЗ. Максимальные средние содержания цинка фиксируются в делювиальных почвах преимущественно в Байкало-Джугджурской и Южно-Сибирской горно-таежной; в аллювиальных почвах Средне-Сибирской равнинно-плоскогорной ландшафтных областях.

Максимальные содержания цинка (150–400 мг/кг) образуют локальные участки в донных отложениях в районах указанных выше городов.

## 2.10. Медь

Кларковые содержания меди в земной коре равны 60 мг/кг. [Иванов, 1996]. Среднее содержание меди в континентальной коре в целом составляет 75, в океанической – 86 мг/кг [Тейлор, Мак-Леннан, 1988]. Осадочные породы разных типов существенно различаются между собой по содержанию меди, колеблющемуся в широких пределах – 5–360 мг/к [Справочник..., 1990; Овчинников, 1990]. Валовое содержание меди в различных типах почв разных стран, по данным А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас (1989), колеблется в пределах 1–323, при средних содержаниях 6–60 мг/кг. Кларковые содержания меди в почвах составляют 20 мг/кг [Брукс, 1986; Виноградов, 1950; Справочник по геохимии, 1990].

В Прибайкалье среднее содержание меди составляет (мг/кг): в коренных породах – 36,68, в донных отложениях – 41,87, в почвах – 42,5–46,7.

В коренных породах относительно повышенные содержания меди – более 40 мг/кг (при региональном фоне – 30 мг/кг, а максимальных значениях – 500 мг/кг) – характерны для осадочного чехла Сибирской платформы и западного обрамления оз. Байкал (Прибайкальская СФЗ). На остальной части территории содержания меди низкие (10–30 мг/кг) и зависят от состава карбонатных пород.

В донных отложениях максимальные концентрации меди составляют 300 мг/кг. Повышенные содержания меди в донных отложениях (57–64 мг/кг) установлены в северной части полигона в виде широкой полосы, протягивающейся от оз. Байкал в северо-западном направлении, а также вдоль северо-западного побережья и в северной части озера. В пределах этой площади выделяются локальные участки с более высокими содержаниями (60–300 мг/кг). Наиболее высокие средние содержания меди в аллювиальных и делювиальных почвах гор. А свойственны для Ангаро-Ленской, Присянской и Прибайкальской СФЗ, а в почвах гор. В – для Ангаро-Ленской и Прибайкальской. В целом в этих СФЗ содержания меди несколько выше в аллювиальных почвах. В каждой СФЗ корреляция меди фиксируется с различными элементами, число которых иногда достигает 13. Сквозных коррелируемых элементов практически нет (табл. 2.12).

Максимальные средние содержания меди отмечаются преимущественно в Средне-Сибирской и Южно-Сибирской равнинно-плоскогорных ландшафтных зонах (табл. 2.13) и некоторых типах почв (до 60–100 мг/кг).

Параметры распределения меди в почвах различных СФЗ Байкальского региона

Структурно-формационная зона	Число проб	Содержание, мг/кг	Тип почв*			Корреляция меди с другими элементами		
			Аллюв., гор. А	Дельта, гор. А	Дельта, гор. В	Аллювий, гор. А	Дельта, гор. А	Дельта, гор. В
Ангари-Ленская Ленская подзона	35	Макс. Ср.	100,0 51,64	100,0 53,00	100,0 47,76	–	–	Pb, Sn, Ga (0,50–0,60)
Юрский угленосный бассейн	14	Макс. Ср.	80,0 51,15	60,0 43,57	60,039 ,38	Sn, U, Mo, Co (0,52–0,71)	Cr, Sn, Li, La, B, Hg (0,53–0,69)	Be, Ni, Co, Zn, Ga (0,53–0,71)
Присянская	16	Макс. Ср.	60,0 49,15	80,0 41,02	60,0 33,02	V, F, U (0,53–0,75)	V, Co, Sn, Li, Yb, Sc, U (0,54–0,75)	V, Co, Pb, Y, Yb, Hg, U (0,51–0,76)
Прибайкальская	13	Макс. Ср.	80,0 50,85	60,0 43,79	100,0 50,23	V, Co, Pb, Zn, Sn, Cs, F (0,54–0,65), Ni (0,80)	Cr, Ni, Co, Zn, Sn, Mo, Y, Ga, F, Sc, V (0,52–0,70)	Cr, Ni, Zn, Mo, F (0,53)
Байкальская	9	Макс. Ср.	60,0 31,30	50,0 39,50	80,0 45,30	V, Yb, La, Rb, Cs, F, U (0,54–0,78), Cr (0,89)	Ni, F, Hg (0,59–0,67) La (0,92)	Y, Yb, Rb, Cs (0,81–0,89), Zn, F (0,53–0,79)
Хамар-Дабанская	15	Макс. Ср.	60,0 31,61	50,0 40,71	40,0 28,57	Be, V, Ni, Co, Mo, Y, Yb (0,52–0,74), Cr (0,80)	Cr, Sn, Li, F, Hg (0,51–0,78)	V, Sn, Y, Yb, B, Sc, U (0,54–0,76), Zn (0,87)
Удино-Витимская	4	Макс. Ср.	80,0 26,32	40,0 23,78	20,0 13,33	Be, V, Pb, Zn, Y, Yb, Ga (0,50–0,74), Mo (0,96)	Be, V, Cr, Ni, Co, Pb, Y, Yb, U (0,52–0,79), La (0,91)	–

\* Аллюв. – аллювий, Дел. – дельта.

Таблица 2.13

Параметры распределения меди в почвах различных ландшафтных областей Байкальского региона

Ландшафтная область	Число проб	Содержание, мг/кг	Тип почв*			Корреляция меди с другими элементами		
			Аллювий, гор. А	Делювий, гор. А	Делювий, гор. В	Аллювий, гор. А	Делювий, гор. А	Делювий, гор. В
Байкало-Джугджурская горно-таежная	109	Макс. Ср.	80,0 36,44	100,0 38,75	100,0 36,68	V (0,50)	Cr (0,52)	Cr, Ni, Yb, Cs (0,51–0,58)
Южно-Сибирская горно-таежная (пихтово-кедровая)	143	Макс. Ср.	100,0 45,27	100,0 42,83	100,0 42,69	–	–	–
Южно-Сибирская горно-таежная (сосновая с примесью лиственных)	256	Макс. Ср.	100,0 41,02	100,0 37,89	80,0 35,17	Ni (0,53)	Ni (0,50)	–
Средне-Сибирская равнинно-платообразная, таежная	16	Макс. Ср.	60,0 52,73	60,0 51,88	60,0 47,29	Cr (0,51)	Y, Cs (0,55–0,75)	Cr, Pb, Zn, Mo, Y, La, (0,55–0,78)
Южно-Сибирская плоскогорная, лесостепная (ангарская лесостепь)	37	Макс. Ср.	100,0 52,75	100,0 43,75	60,0 35,40	Y, Yb (0,50–0,52)	Sn (0,50)	Sn, Ga (0,52–0,58)
Западно-Забайкальская (даурская степь)	59	Макс. Ср.	80,0 39,88	100,0 48,02	100,0 42,42	Zn, B (0,53–0,58)	–	–
Онон-Аргунская степная (высоких равнин и денудационных плато)	35	Макс. Ср.	80,0 42,87	80,0 50,29	80,0 47,02	Be, Li, Rb (0,52–0,66)	Cr, Sn (0,52)	V, Cr, Ag, Cs, F, U (0,54–0,71)

\* Алл. – аллювий, Дел. – делювий.



## 2.11. Никель

Никель является типичным элементом ультраосновных пород, в которых его содержание составляет 0,14–0,20 % и иногда достигает 0,5 %. В осадочных породах содержание никеля установлено 0,1–20 мг/кг, самое высокое оно в глинистых отложениях, а также в органических соединениях. Кларковое содержание никеля составляет 100 мг/кг [Иванов, 1994] или 105 мг/кг [Тейлор, Мак-Леннан, 1988]. Среднее содержание никеля в почвах составляет 20 мг/кг [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989] и 40 мг/кг [Виноградов, 1950]. Кларковое содержание никеля в почвах – 40 мг/кг, а ПДК – 80 мг/кг [Иванов, 1994].

Распределение никеля в разных средах Байкальского полигона характеризуется следующими особенностями. Максимальные содержания никеля (мг/кг): в коренных породах – 2 000, в донных отложениях – 300, в почвах – 100–800.

Региональный фон никеля для коренных пород рассматриваемой территории составляет 32 мг/кг, что почти в три раза ниже кларка земной коры. Слабоаномальное поле никеля приурочено к породам Сибирской платформы – осадочным образованиям и метаморфическим породам западного берега оз. Байкал. В гранитоидах восточного обрамления и карбонатных породах платформенной части полигона содержание никеля ниже фоновых значений для полигона в целом.

В донных отложениях содержания никеля низкие и не превышают 30–50 мг/кг. Несколько повышенные содержания его (60–130, иногда до 250 мг/кг) фиксируются в полосе северо-восточного направления, протягивающейся вдоль р. Ангары и вдоль северо-западного и северного побережья оз. Байкал.

Слабо повышенные средние содержания никеля (более 40 мг/кг) во всех морфологических типах почв фиксируются в пределах Юрского угленосного бассейна и Хамар-Дабанской СФЗ, а также в аллювиальных почвах Прибайкальской и Присянской СФЗ, а в делювиальных почвах гор. А – в Ангаро-Ленской СФЗ, в делювиальных почвах гор. В – в Ангаро-Ленской и Присянской СФЗ. В почвах различных СФЗ никель коррелирует с кобальтом, а также с рядом других элементов (табл. 2.14). Повышенные средние содержания никеля отмечаются практически в одних и тех же ландшафтных областях (Средне-Сибирской и Южно-Сибирской равнинно-плоскогорных, таежных) (табл. 2.15). Повышенные содержания никеля (50–80 мг/кг) фиксируются также практически в одних и тех же типах почв – как в аллювиальных, так и в делювиальных.

Таблица 2.14

## Параметры распределения никеля в почвах различных СФЗ Байкальского региона

Структурно-формационная зона	Число проб	Содерже-ние, мг/кг	Тип почв*			Корреляция никеля с другими элементами		
			Аллюв., гор. А	Делювий, гор. А	Делювий, гор. В	Аллювий, гор. А	Делювий, гор. А	Делювий, гор. В
Ангари-Ленская Ленская подзона	35	Макс. Ср.	60,0 39,01	60,0 45,39	80,0 44,41	Sn, U, V, Pb, Yb, Rb, Cs, Be, Co (0,50–0,72)	Yb, Rb, Co (0,51–0,74)	Co (0,57)
Юрский угленосный бассейн	14	Макс. Ср.	60,0 44,80	60,0 47,14	60,0 50,00	Sn, U, Pb, Be, Li, Yb, B, Co (0,51–0,74)	F, Co, Ag, Li (0,53–0,79)	V, Zn, CO, Cr, Cu, Ga (0,50–0,69)
Присяянская	16	Макс. Ср.	60,0 47,50	60,0 37,97	100,0 46,01	C, Cr, Co (0,56–0,74)	C, Be, Hg, Sc, Sn, Li, Co (0,58–0,67)	V, Pb, Be, Co (0,50–0,74)
Прибайкальская	13	Макс. Ср.	80,0 45,85	50,0 27,92	150,0 35,46	Cs, Sn, V, Cu, Co (0,66–0,86)	Pb, Mo, La, V, Zn, Cu, Sc, Ga, Yb, Be (0,54–0,92)	V, Cu, Co, Sn, Be, Cs, Zn, Cr (0,51–0,79)
Байкальская	9	Макс. Ср.	50,0 35,56	50,0 32,21	50,0 27,68	Mo, Yb, La, Y, Co, C, V, Sc (0,64–0,92)	Co, La, Cu, Mo, B, Cr, Pb, Hg (0,53–0,94)	Hg, Mo, Li, B, Co, Pb, V, Cr (0,50–0,95)
Хамар-Дабанская	15	Макс. Ср.	50,0 42,67	60,0 46,43	60,0 47,14	Zn, Sc, Mo, Y, Cu, Li, Hg, Sn, Be (0,50–0,78)	Co, Y, La, Be, C, Yb (0,53–0,71)	Hg, Pb, Cr, Be, Sn, V, La (0,53–0,87)
Удино-Витимская	4	Макс. Ср.	50,0 35,00	50,0 27,83	30,0 26,66	Pb, V, Zn, Y, Yb, Mo, Co, Li, Cu (0,52–0,96)	F, Cu, Pb, V, Cr, Co (0,55–0,98)	–

\* Алл. – аллювий, Дел. – делювий.

Таблица 2.15

Параметры распределения никеля в почвах различных ландшафтных областей Байкальского региона

Ландшафтная область	Число проб	Содержание, мг/кг	Тип почв*			Корреляция никеля с другими элементами		
			Аллювий, гор. А	Делювий, гор. А	Делювий, гор. В	Аллювий, гор. А	Делювий, гор. А	Делювий, гор. В
Байкало-Джугджурская горно-таежная	109	Макс. Ср.	80,0 36,97	60,0 40,83	150,0 40,39	V, Co, Y, Yb, Sc (0,55–0,79)	Co, Mo, Y, Yb (0,52–0,71)	Be, Cr, Cu, Sn, Sc (0,50–0,56)
Южно-Сибирская горно-таежная (пихтово-кедровая)	143	Макс. Ср.	80,0 36,06	80,0 36,59	600,0 37,30	V, Cr, Co, (0,50–0,65)	Cr, Co (0,75–0,94)	Cr, Co (0,57–0,95)
Южно-Сибирская горно-таежная (сосновая с примесью лиственных)	256	Макс. Ср.	80,0 39,75	100,0 41,58	100,0 44,42	V, Co, Cu, Yb (0,51–0,60)	Cr (0,59)	-
Средне-Сибирская равнинно-платообразная, таежная	16	Макс. Ср.	60,0 50,98	60,0 50,63	60,0 51,82	Co (0,79)	Co, Zn (0,60–0,79)	V, Ag, B, U (0,52–0,66)
Южно-Сибирская плоскогорная, лесостепная (ангарская лесостепь)	37	Макс. Ср.	100,0 45,68	60,0 48,38	80,0 46,09	Be, Co, Pb, Sn, La, Ga, Sc (0,51–0,73)	V, Cr, Co (0,56–0,65)	-
Западно-Забайкальская (даурская степь)	59	Макс. Ср.	60,0 39,88	60,0 41,36	80,0 38,62	V, Co (0,56–0,70)	Co (0,61)	Cr (0,67)
Онон-Аргунская степная (высоких равнин и денудационных плато)	35	Макс. Ср.	60,0 38,33	60,0 45,55	60,0 49,00	V, Sn, Yb (0,51–0,59)	V, Cr, Sn, Yb, B, Rb, Sc (0,53–0,82)	B (0,54)

\* Алл. – аллювий, Дел. – делювий.

## 2.12. Кобальт

Кларковые содержания кобальта в литосфере составляют 36 мг/кг [Иванов, 1994], в земной коре по А. П. Виноградову – 30 мг/кг. Кобальт и никель являются типичными элементами ультраосновных пород. Содержание кобальта в них колеблется от 100 до 220 мг/кг. Среднее содержание кобальта в почвах земного шара составляет 8,5 мг/кг, при колебаниях от 1 до 40 мг/кг. Кларковые содержания – 10, а ПДК – 30 мг/кг [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989].

Распределение кобальта в разных компонентах окружающей среды Байкальского региона имеет свои особенности. Максимальные концентрации его составляют (мг/кг): в коренных породах – 100, в донных отложениях – 300, в почвах – 50–80, региональный фон – 9 (табл. 2.1).

Для коренных пород Байкальского региона, как платформенной его части, так и складчатого обрамления, характерны низкие содержания кобальта – 1–100 мг/кг. Относительно повышенные его содержания (до 100 мг/кг) установлены в породах Юрского угленосного бассейна на площади Ангаро-Ленской СФЗ.

В донных отложениях на преобладающей части площади содержания кобальта низкие (15–20 мг/кг).

В аллювиальных почвах слабо повышенные средние содержания кобальта (> 20 мг/кг), в отличие от никеля, отмечаются лишь в трех СФЗ: Прибайкальской, Присянской и Юрского угленосного бассейна Ангаро-Ленской; в делювиальных почвах гор. А таковых нет, а в делювиальных почвах гор. В – в Присянской СФЗ. Коррелирует кобальт в разных СФЗ с различными элементами (табл. 2.16).

Максимальные средние содержания кобальта фиксируются в различных ландшафтных отрядах: в аллювиальных почвах – в Средне-Сибирской равнинно-плоскогорной, в делювиальных гор. А – в Южно-Сибирской горно-таежной, в делювиальных гор. В – в Байкало-Джугджурской горно-таежной (табл. 2.17). Повышенные содержания кобальта (до 50 мг/кг) отмечаются также в различных типах почв.

## 2.13. Хром

Кларк хрома в земной коре равен 200 мг/кг [Виноградов, 1950] или 130 мг/кг [Иванов, 1994]. Его содержания в континентальной коре составляют 185 мг/кг [Тейлор, Мак-Леннан, 1988]. Хром сконцентрирован главным образом в ультраосновных породах, где среднее его содержание достигает 3000 мг/кг. В осадочных и метаморфических породах его содержание изменяется менее контрастно. Меньше всего его в карбонатных породах (11 мг/кг), больше – в сланцах (до 546 мг/кг), аргиллитах (440 мг/кг) [Ронов, Бреданов, Мигдисов, 1988]. Содержание хрома в почвах разных стран, согласно сводке, составленной А. П. Виноградо-

вым (1950), колеблется в пределах 1–3 100 мг/кг. Кларк хрома в почвах – 200 мг/кг [Виноградов, 1950] или 150 мг/кг [Брукс, 1986], ПДК – 100 мг/кг [Методические указания по оценке ..., 1987] или 54–65 мг/кг [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989].

В пределах Байкальского полигона распределение хрома характеризуется следующими особенностями. Максимальные содержание хрома составляют (мг/кг): в коренных породах – 4 000, донных отложениях – 600, почвах – 400–1 500.

Среднее содержание хрома в коренных породах – 100 мг/кг, региональный фон – 80 мг/кг. Слабоконтрастное геохимическое поле в них занимает северную часть полигона, в пределах Ангаро-Ленской СФЗ и юго-восточного берега оз. Байкал.

В донных отложениях среднее содержание хрома составляет 110,6 мг/кг. По распределению содержания этого элемента в донных отложениях площадь региона четко подразделяется на три района. Первый район – вся западная часть площади, образующая широкую полосу от оз. Байкал в северо-восточном направлении вдоль р. Ангары и Транссибирской железной дороги. Здесь содержания хрома колеблются в пределах 80–50 мг/кг, иногда до 150–350 мг/кг. Второй район – северная часть территории полигона, где содержания составляют 150–500 мг/кг. Третий район – вся юго-восточная часть региона, с центром – р. Селенгой, где фиксируются минимальные содержания хрома (30–80 мг/кг).

При весьма низких содержаниях хрома в почвах Прибайкалья несколько повышенные средние содержания его ( $> 100$  мг/кг) свойственны для Ангаро-Ленской и Присаянской СФЗ (табл. 2.18), а также Средне-Сибирской равнинно-плоскогорной, таежной ландшафтной области и для лесостепных ландшафтов (табл. 2.19), а также некоторых типов почв.

Корреляция хрома в почвах фиксируется с небольшим числом элементов (от 1 до 12), различных для разных СФЗ, но преобладающими в большинстве случаев являются V, Ni, Co, Y, Yb.

## **2.14. Молибден**

Максимальные средние содержания молибдена в аллювиальных почвах фиксируются в пределах Юрского угленосного бассейна и в делювиальных почвах Хамар-Дабанской СФЗ. Отмечается уменьшение содержания молибдена в почвах гор. В. Наиболее высокие средние содержания этого элемента ( $> 4$  мг/кг) фиксируются в аллювиальных почвах в Ангаро-Ленской, Присаянской, Байкальской и Хамар-Дабанской СФЗ. Коррелирует молибден в разных СФЗ с различными элементами и разным их количеством (табл. 2.20). Максимальные средние содержания молибдена свойственны для почв Байкало-Джугджурских и Южно-Сибирских горно-таежных ландшафтных зон (табл. 2.21) и некоторых других типов почв.

Таблица 2.16

Параметры распределения кобальта в почвах различных СФЗ Байкальского региона

Структурно-формационная зона	Число проб	Сод-е, мг/кг	Тип почв*			Корреляция кобальта с другими элементами		
			Алл., гор. А	Дел., гор. А	Дел., гор. В	Аллювий, гор. А	Делювий, гор. А	Делювий, гор. В
Ангаро-Ленская Ленская подзона	35	Макс. Ср.	30,0 16,20	30,0 19,80	40,0 19,50	Sn, V, Yb, Rb, Pb, Sc, Be, Ni, Cs (0,52–0,80)	Rb, Cs, Ni (0,64–0,74)	Cs, Ni (0,52–0,57)
Юрский угленосный бассейн	14	Макс. Ср.	30,0 20,60	30,0 17,90	30,0 18,20	Cs, Rb, F, Sn, Sc, Be, B, Yb, Ni (0,50–,74)	Be, F, Ni, V, Sc (0,51–0,77)	Sn, La, Ni, Yb, Cu, V, Ga, Be (0,50–0,73)
Присянская	16	Макс. Ср.	40,0 21,30	30,0 16,40	50,0 21,70	Cr, V, Ni (0,53–0,74)	Cu, Hg, Be, Ni, Sc, Li, Sn (0,55–0,73)	Pb, Zn, Cu, V, Be, Hg, Ni, Sc (0,51–0,75)
Прибайкальская	13	Макс. Ср.	50,0 20,20	20,0 12,30	50,0 18,50	Sc, Sn, Ag, Be, Mo, Hg, Cu, Ni, V (0,50–0,88)	La, Ga, Sc, Mo, Pb, Cu, Yb, Zn, Be, Y (0,52–0,93)	Ni, V, Be (0,59–0,79)
Байкальская	9	Макс. Ср.	30,0 15,30	20,0 12,60	30,0 18,30	Hg, B, La, Sn, C, V, Sc, Ni (0,52–0,87)	Ni, Y, U, Mo, C, V (0,53–0,90)	Hg, Cs, Rb, La, F, Ni, Mo, Cr (0,50–0,80)
Хамар-Дабанская	15	Макс. Ср.	20,0 18,30	30,0 18,20	30,0 21,40	Y, Hg, Li, Zn, Cu, Sn, Yb, Ni (0,50–0,75)	Be, Yb, Ni, Sn, Cr, C (0,50–0,68)	–
Удино-Витимская	4	Макс. Ср.	30,0 17,50	30,0 17,50	20,0 16,70	Ga, Li, U, B, Cu, Mo, Cr, Ni (0,52–0,87)	Hg, Cu, Li, F, Mo, Pb, V, Cr, Ni (0,51–0,98)	–

\* Алл. – аллювий, Дел. – делювий.

Таблица 2.17

Параметры распределения кобальта в почвах различных ландшафтных областей Байкальского региона

Ландшафтная область	Число проб	Содержание, мг/кг	Тип почв*			Корреляция кобальта с другими элементами		
			Аллювий, гор. А	Делювий, гор. А	Делювий, гор. В	Аллювий, гор. А	Делювий, гор. А	Делювий, гор. В
Байкало-Джугджурская горно-таежная	109	Макс. Ср.	50,0 17,20	30,0 16,80	50,0 19,50	Be, V, Ni, Sn, Y, Yb, Ag, (0,55–0,80)	Mo (0,50)	–
Южно-Сибирская горно-таежная (пихтово-кедровая)	143	Макс. Ср.	50,0 15,40	80,0 14,70	80,0 18,30	V, Ni, Sc (0,55–0,60)	Cr, Ni (0,67–0,75)	Ni, Ag, Hg, Sc (0,53–0,57)
Южно-Сибирская горно-таежная (сосновая с примесью лиственных)	256	Макс. Ср.	50,0 15,60	30,0 17,10	40,0 17,30	Ni (0,60)	Ni (0,59)	–
Средне-Сибирская равнинно-платообразная, таежная	16	Макс. Ср.	40,0 21,40	30,0 16,30	30,0 17,70	Ni, Mo, Yb, Ga, Rb, Cs (0,53–0,79)	Ni, Hg (0,50–0,79)	Be, Li, Rb, Sc (0,58–0,73)
Южно-Сибирская плоскогорная, лесостепная (ангарская лесостепь)	37	Макс. Ср.	30,0 15,60	30,0 18,20	30,0 16,60	Be, Ni, Pb, Sn, La, Cs (0,51–0,73)	V, Ni (0,62–0,65)	Pb, Mo (0,52)
Западно-Забайкальская (даурская степь)	59	Макс. Ср.	30,0 14,90	30,0 14,50	30,0 15,90	Be, Ni, Rb, Cs (0,57–0,70)	Ni (0,61)	Sn, Rb, Cs (0,54–0,73)
Онон-Аргунская степная (высоких равнин и денудационных плато)	35	Макс. Ср.	20,0 12,90	30,0 17,70	30,0 18,00	Be (0,62)	V, Cr, Ni, Mo, Yb, Sc (0,60–0,81)	Cr, Mo, Rb (0,55–0,60)

\* Аллюв. – аллювий, Дел. – делювий.



Таблица 2.18

## Параметры распределения хрома в почвах различных СФЗ Байкальского региона

Структурно-формационная зона	Число проб	Содерже, мг/кг	Тип почв*			Элементы с высоким коэффициентом корреляции		
			Алл., гор. А	Дел., гор. А	Дел., гор. В	Аллювий, гор. А	Делювий, гор. А	Делювий, гор. В
Ангаро-Ленская Ленская подзона	35	Макс. Ср.	300,0 107,5	300,0 113,9	300,0 100,7	–	Yb (0,53)	–
Юрский угленосный бассейн	14	Макс. Ср.	400,0 112,5	200,0 86,20	200,0 79,50	Ga (0,57)	Rb, Cs, B, Cu, Pb, Hg (0,51–0,90)	V, Ni (0,52–0,67)
Присяянская	16	Макс. Ср.	300,0 108,6	200,0 86,60	400,0 118,6	Co, Ni, C (0,53–0,79)	B, V (0,63)	–
Прибайкальская	13	Макс. Ср.	150,0 91,50	100,0 74,70	200,0 95,90	B, Yb, V, Pb, Cs, Zn, Sc (0,51–0,78)	Pb, Zn, Be, Cu, V, Sc, Y, Sn, Ga, Co, Yb (0,51–0,92)	Cu, Be, Sn, Li, V, Ga, Zn, Ni, Sc (0,59–0,82)
Байкальская	9	Макс. Ср.	100,0 76,38	100,0 81,10	100,0 72,40	Rb, CS, V, La, U, Y, Cu (0,53–0,89)	Sc, Yb, Ni, Hg, Zn, B (0,54–0,85)	Pb, Li, Mo, V, Co, Ni (0,53–0,95)
Хамар-Дабанская	15	Макс. Ср.	150,0 96,13	100,0 92,90	100,0 81,80	F, Mo, V, Cu (0,58–0,80)	U, V, Sc, Cu, F, Co, C (0,50–0,69)	Be, Zn, Sn, Ni, V, La (0,55–0,75)
Удино-Витимская	4	Макс. Ср.	100,0 68,20	100,0 68,17	80,00 66,70	Pb, V, Y, Yb, Zn, Mo, Co, Li, Cu, Ni (0,52–1,00)	F, La, U, Be, Cu, Co, Ni, V 0,51–1,00)	-

\* Алл. – аллювий, Дел. – делювий.

Таблица 2.19

Параметры распределения хрома в почвах различных ландшафтных областей Байкальского региона

Ландшафтная область	Число проб	Содержание, мг/кг	Тип почв			Элементы с высоким коэффициентом корреляции		
			Аллювий, гор. А	Делювий, гор. А	Делювий, гор. В	Аллювий, гор. А	Делювий, гор. А	Делювий, гор. В
Байкало-Джугджурская горно-таежная	109	Макс. Ср.	300,0 92,8	300,0 110,3	200,0 97,6	–	V, Cu, Yb, Cs (0,52–0,55)	Ni, Cu (0,51–0,58)
Южно-Сибирская горно-таежная (пихтово-кедровая)	143	Макс. Ср.	400,0 91,3	150,0 93,3	1500,0 91,4	Ni (0,50)	Ni, Co (0,67–0,94)	Ni (0,95)
Южно-Сибирская горно-таежная (сосновая с примесью лиственных)	256	Макс. Ср.	300,0 93,9	300,0 98,7	500,0 85,1	–	Ni (0,59)	–
Средне-Сибирская равнинно-платообразная, таежная	16	Макс. Ср.	300,0 130,9	200,0 111,6	200,0 113,1	Cu, Sn, U (0,51)	V, Sn, Mo, Yb (0,50–0,58), Ga (0,86)	V, Cu, Mo, Yb, Ga (0,51–0,63)
Южно-Сибирская плоскогорная, лесостепная (ангарская лесостепь)	37	Макс. Ср.	400,0 124,0	400,0 138,8	200,0 110,3	–	Ni, Cu, Y, Yb, Cs (0,50–0,59)	–
Западно-Забайкальская (даурская степь)	59	Макс. Ср.	300,0 95,7	200,0 105,7	200,0 88,3	–	Y (0,57)	V, Ni (0,54–0,67)
Онон-Аргунская степная (высоких равнин и денудационных плато)	35	Макс. Ср.	200,0 115,7	300,0 138,8	200,0 104,2	V, Sn, Y, Yb, Cs (0,51–0,59)	V, Ni, Co, Cu, Yb, Rb (0,52–0,70)	V, CO, Cu, Li, Cs, U (0,51–0,68)

\* Алл. – аллювий, Дел. – делювий.

## 2.15. Бор

Повышенные средние содержания бора ( $> 30$  мг/кг) свойственны для Юрского угленосного бассейна, Хамар-Дабанской и Удино-Витимской СФЗ – в аллювиальных почвах; Ангаро-Ленской и Хамар-Дабанской СФЗ – в делювиальных почвах (гор. А и В); Ангаро-Ленской, Присяянской и Хамар-Дабанской СФЗ – в делювиальных почвах гор. В. Корреляция бора в различных СФЗ фиксируется с различными элементами (табл. 2.22). Максимальные средние содержания бора свойственны для Байкало-Джугджурской горно-таежной и Южно-Сибирской плоскогорной, лесостепной зон (табл. 2.23), а также для некоторых других типов почв.

## 2.16. Ванадий

Кларковые содержания ванадия в земной коре составляют 190 мг/кг [Иванов, 1996]. Высокие содержания ванадия характерны для пород основного состава – до 300 мг/кг, в ультраосновных и кислых породах его содержания более низкие – до 100 мг/кг. В осадочных породах, обогащенных органикой, содержания его достигают 8 500 мг/кг, в глинистых сланцах и аргиллитах – до 0,015, в карбонатных породах – 0,002 мг/кг. Среднее содержание ванадия в почвах земного шара оценивается в 100 мг/кг [Виноградов, 1950] и 90 мг/кг [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989]. Кларковое содержание ванадия в почвах – 100, а ПДК – 150 мг/кг [Иванов, 1996].

В пределах Байкальского региона максимальные концентрации в разных средах следующие (мг/кг): в коренных породах – 600, в донных отложениях – 500, в почвах – 1 200 (см. табл. 2.24).

В коренных породах наибольшие содержания ванадия (300–600) мг/кг зафиксированы в древних метаморфических породах в районе пос. Еланцы и на о. Ольхон. Региональный фон – 60 мг/кг, среднее содержание – 75 мг/кг, что ниже кларка для земной коры почти в три раза (190 мг/кг). Относительно повышенные содержания ванадия имеют песчано-сланцевые породы Сибирской платформы.

В донных отложениях среднее содержание ванадия составляет 120 мг/кг, а региональный фон – 109 мг/кг. Повышенные относительно фона содержания ванадия характерны для всей западной прибрежной части оз. Байкал и Юрского угленосного бассейна.

Региональный фон ванадия в почвах Прибайкалья – 100–114 мг/кг, равный кларку, а среднее содержание немного больше среднемирового уровня для почв (110,4–121 мг/кг). Максимальные содержания (300–1 200 мг/кг) превышают самые высокие, известные по литературным данным.

Таблица 2.20

Параметры распределения молибдена в почвах различных СФЗ Байкальского региона

Структурно-формационная зона	Число проб	Содерже, мг/кг	Тип почв*			Элементы с высоким коэффициентом корреляции		
			Алл., гор. А	Дел., гор. А	Дел., гор. В	Аллювий, гор. А	Делювий, гор. А	Делювий, гор. В
Ангаро-Ленская Ленская подзона	35	Макс. Ср.	6,0 3,46	6,0 3,58	6,0 3,22	Cs (0,52)	–	
Юрский угленосный бассейн	14	Макс. Ср.	10,0 4,86	5,0 3,64	6,0 3,50	U, Cu (0,56–0,71)	–	F, Zn, Sc, U, Pb (0,50–0,72)
Присаянская	16	Макс. Ср.	6,0 4,38	5,0 3,08	15,0 3,58	B, F, Be, Sc (0,51–0,55)	U, B (0,58–0,64)	–
Прибайкальская	13	Макс. Ср.	5,0 3,17	4,0 3,0	4,0 3,31	Be, V, Hg, Ag, Co (0,56–0,64)	Sn, B, BE, Zn, Cu, F, La (0,54–0,74)	Hg, U, Cu (0,53)
Байкальская	9	Макс. Ср.	8,0 4,31	5,0 3,71	5,0 3,33	Ga, Zn, Rb, F, Cs, Ni, Sc, V, C (0,51–0,96)	Sc, Ni, Co, V, Hg, B, Pb (0,56–0,82)	Be, Cr, Ni, Zn, La, Sc, Co (0,54–0,67)
Хамар-Дабанская	15	Макс. Ср.	8,0 4,32	5,0 4,5	3,0 3,0	Ni, Cu, La, Cr, Sn, Hg, Yb, Y, Be (0,50–0,84)	–	
Удино-Витимская	4	Макс. Ср.	5,0 4,0	5,0 3,75	5,0 3,67	Sn, F, B, Be, Li, Y, Yb, V, Zn (0,50–0,92)	Li, La, U, Be, Co, Hg, C, Y, Yb (0,52–0,87)	

\* Алл. – аллювий, Дел. – делювий.

Таблица 2.21

Параметры распределения молибдена в почвах различных ландшафтных областей Байкальского региона

Ландшафты	Число проб	Сод-е, мг/кг	Тип почв*			Элементы с высоким коэффициентом корреляции		
			Алл., гор. А	Дел., гор. А	Дел., гор. В	Аллювий, гор. А	Делювий, гор. А	Делювий, гор. В
Байкало-Джугджурская горно-таежная	109	Макс. Ср.	6,0 3,64	6,0 3,74	15,0 3,09	–	Ni, Co (0,52)	–
Южно-Сибирская горно-таежная (пихтово-кедровая)	143	Макс. Ср.	8,0 3,31	8,0 3,15	15,0 3,17	–	–	–
Южно-Сибирская горно-таежная (сосновая с примесью лиственных)	256	Макс. Ср.	10,0 3,51	8,0 3,1	8,0 2,6	–	–	–
Средне-Сибирская равнинно-платообразная, таежная	16	Макс. Ср.	6,0 3,75	4,0 2,81	3,0 2,64	Be, Co, Ga, Hg (0,76), Rb, Cs (0,80–0,92)	Cr (0,58)	Cr, Cu, Cs (0,51–0,61)
Южно-Сибирская плоскогорная, лесостепная (ангарская лесостепь)	37	Макс. Ср.	6,0 3,57	6,0 2,99	5,0 2,55	Cs (0,51)	–	-Co (0,52)
Западно-Забайкальская (даурская степь)	59	Макс. Ср.	10,0 3,44	3,0 2,10	6,0 3,13	–	–	–
Онон-Аргунская степная (высоких равнин и денудационных плато)	35	Макс. Ср.	15,0 3,24	5,0 3,14	3,0 2,10	B, F (0,56–0,70)	V, Co (0,51)	Co, Zn, Rb, Hg (0,53–0,62)

\* Алл. – аллювий, Дел. – делювий.

Параметры распределения бора в почвах различных СФЗ Байкальского региона

Структурно-формационная зона	Число проб	Содерже, мг/кг	Тип почв*			Элементы с высоким коэффициентом корреляции		
			Алл., гор. А	Дел., гор. А	Дел., гор. В	Аллювий, гор. А	Делювий, гор. А	Делювий, гор. В
Ангаро-Ленская Ленская подзона	35	Макс. Ср.	50,0 30,6	50,0 34,8	50,0 33,9	–	–	–
Юрский угленосный бассейн	14	Макс. Ср.	50,0 35,0	40,0 22,9	60,0 24,3	F, CS, Rb, Pb, Co, Yb, Be, Ni, Sn (0,51–0,77)	Hg, V, Y, Cr, Cu (0,50–0,69)	Li, Ga (0,54–0,59)
Присянская	16	Макс. Ср.	50,0 28,8	50,0 25,1	50,0 32,5	Ga, Mo, Rb, CS (0,50–0,52)	Cr, Mo (0,62–0,64)	Rb, U, Cs (0,57–0,60)
Прибайкальская	13	Макс. Ср.	50,0 21,3	50,0 20,0	50,0 19,8	Cr, Zn (0,51–0,52)	Rb, C, Mo, La (0,54–0,73)	Ga (0,51)
Байкальская	9	Макс. Ср.	40,0 30,0	30,0 21,1	30,0 16,7	Rb, Cs, Co (0,53–0,55)	Sn, Rb, CS, Pb, Ga, Hg, Ni, Mo, Yb (0,51–0,89)	Cs, Sn, Ni, U, Yb, Y, Pb (0,51–0,83)
Хамар-Дабанская	15	Макс. Ср.	50,0 32,0	50,0 40,7	50,0 38,6	–	La (0,56)	U, F, Y, Yb, Cu (0,56–0,72)
Удино-Витимская	4	Макс. Ср.	50,0 33,1	10,0 10,0	20,0 16,7	Hg, Mo, Co, Ga, Sc (0,54–0,77)	–	–

\* Алл. – аллювий, Дел. – делювий.

Таблица 2.23

Параметры распределения бора в почвах различных ландшафтных областей Байкальского региона

Ландшафтная область	Число проб	Содержание, мг/кг	Тип почв*			Элементы с высоким коэффициентом корреляции		
			Аллювий, гор. А	Делювий, гор. А	Делювий, гор. В	Аллювий, гор. А	Делювий, гор. А	Делювий, гор. В
Байкало-Джугджурская горно-таежная	109	Макс. Ср.	60,0 25,9	60,0 29,8	100,0 30,7	–	–	–
Южно-Сибирская горно-таежная (пихтово-кедровая)	143	Макс. Ср.	80,0 23,7	60,0 21,5	60,0 21,3	–	–	–
Южно-Сибирская горно-таежная (сосновая с примесью лиственных)	256	Макс. Ср.	50,0 25,4	50,0 23,6	90,0 25,1	–	–	–
Средне-Сибирская равнинно-платообразная, таежная	16	Макс. Ср.	50,0 30,9	30,0 21,9	40,0 27,3	–	Zn, Sn (0,53–0,63)	Be, Ni, Hg (0,62–0,70)
Южно-Сибирская плоскогорная, лесостепная (ангарская лесостепь)	37	Макс. Ср.	50,0 27,2	60,0 30,3	60,0 29,0	–	Cu, Li (0,50–0,54)	–
Западно-Забайкальская (даурская степь)	59	Макс. Ср.	50,0 23,7	100,0 23,9	60,0 22,9	Cu (0,53)	–	–
Онон-Аргунская степная (высоких равнин и денудационных плато)	35	Макс. Ср.	60,0 25,4	40,0 28,3	50,0 30,8	Mo, F (0,51–0,70)	V, Ni (0,51–0,68)	Be, Cu, Li, Cs, F, U (0,56–0,74)

\* Алл. – аллювий, Дел. – делювий.



Таблица 2.24

Параметры распределения ванадия в почвах различных СФЗ Байкальского региона

Структурно-формационная зона	Число проб	Сод-е, мг/кг	Тип почв*			Элементы с высоким коэффициентом корреляции		
			Алл., гор. А	Дел., гор. А	Дел., гор. В	Аллювий, гор. А	Делювий, гор. А	Делювий, гор. В
Ангаро-Ленская Ленская подзона	35	Макс. Ср.	300,0 98,9	200,0 120,0	200,0 117,1	Co, Ni, Sc (0,53–0,58)	Y, Yb, Be (0,56–0,63)	La, (0,52)
Юрский угленосный бассейн	14	Макс. Ср.	200,0 105,8	200,0 90,6	200,0 86,6	Y, Sn, La (0,63–0,85)	Co, B, Sc (0,52–0,69)	Ni, U, Cr, Co (0,50–0,66)
Присаянская	16	Макс. Ср.	200,0 133,6	100,0 85,1	200,0 116,2	Sc, Cu, Co (0,51–0,61)	Sc, Y, Cr, Cu (0,54–0,75)	Ni, Pb, Cu, Co (0,50–0,67), Hg (0,94)
Прибайкальская	13	Макс. Ср.	200,0 111,1	150,0 83,0	300,0 115,5	Cu, Cr, Mo, Be, Sn, Sc, Ni, Co (0,59–0,88)	Zn, Ni, Yb, Cr, Sc, Cu (0,53–0,84)	Ni, Cr, Li, Be, Co, Sc (0,51–0,74)
Байкальская	9	Макс. Ср.	200,0 93,6	100,0 91,4	150,0 103,1	Cr, Yb, La, Co, Mo, Y, Sc, Ni, C (0,56–0,91)	F, Mo, U, C, Co (0,52–0,90)	Zn, Pb, Y, Yb, Be, Cr, Ni (0,50–0,74), Li (0,94)
Хамар-Дабанская	15	Макс. Ср.	150,0 108,1	150,0 105,6	150,0 102,6	Y, Sc, Mo, U, F, Cu, Cr, C (0,55–0,81)	Cr, Li, La, F, Be, C, Sc (0,51–0,84)	Cu, Sn, Cr, La, Ni (0,54–0,81)
Удино-Витимская	4	Макс. Ср.	100,0 90,0	300,0 131,8	150,0 116,7	Cr, Ni, Ga, Sc, U, Li, Cu, F, Hg, Be (0,58–1,00)	F, La, U, Be, Cu, Co (0,51–0,87), Cr, Ni (1,00)	–

\* Алл. – аллювий, Дел. – делювий.

Слабо повышенные средние содержания ванадия ( $> 100$  мг/кг) фиксируются в аллювиальных почвах Юрского угленосного бассейна, Присяянской, Прибайкальской и Хамар-Дабанской СФЗ; в делювиальных почвах гор. А – в Ангаро-Ленской, Хамар-Дабанской, Удино-Витимской СФЗ; в делювиальных почвах гор. В – в Ангаро-Ленской, Присяянской, Прибайкальской, Удино-Витимской СФЗ. Корреляция ванадия фиксируется в каждой СФЗ с различным составом элементов (табл. 2.24).

Максимальные средние содержания ванадия отмечаются в Средне-Сибирской равнинно-плоскогорной, таежной ландшафтной зоне в аллювиальных почвах; в Байкало-Джугджурской и Южно-Сибирской горно-таежной зонах – в делювиальных почвах горизонтов А и В (табл. 2.25).

## 2.17. Стронций

Кларк стронция в земной коре равен 370 мг/кг [Иванов, 1994]. В ультраосновных породах содержания этого элемента более низкие, чем в основных и средних. В гранитах оно варьирует от 200 до 700 мг/кг, в ультраметаморфических щелочных и редкометалльных гранитах стронция менее 100 мг/кг. Осадочные породы резко различаются по содержанию стронция. Максимальные его содержания характерны для гипсов, карбонатных пород, низкие – для соленосных отложений. Содержания стронция в почвах контролируются составом материнских пород и колеблются в пределах 5–3 500 мг/кг, при среднем значении 110–440 мг/кг. Кларковые содержания этого элемента в почвах составляют 300 мг/кг, ПДК – 1 000 мг/кг [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989].

В Прибайкалье средние содержания стронция составляют (мг/кг): в коренных породах – 349, в донных отложениях – 321, в почвах – 250–299.

В коренных породах региональный фон стронция составляет 200 мг/кг, максимальное содержание его достигает 10 000 мг/кг. Самые высокие его содержания имеют гибсоносные отложения в районе Тункинской долины. В осадочных породах Сибирской платформы самые низкие содержания стронция имеются в песчаниках и сланцах. Слабо повышенные содержания его фиксируются в карбонатных породах в районе поселков Качуг, Баяндай, Усть-Ордынский и к востоку от г. Зимы. К востоку от оз. Байкал выделена площадь контрастного геохимического поля стронция, приуроченная к средним и кислым породам Ангаро-Витимского батолита.

В донных отложениях максимальные значения стронция составляют 6 000 мг/кг, региональный фон – 303 мг/кг. По содержанию стронция в этих отложениях полигон подразделяется на два района. Для основной части Сибирской платформы (к западу от оз. Байкал) характерны преимущественно минимальные содержания – 10–30 мг/кг, а в юго-восточной части полигона содержания стронция колеблются от 40 до 130 мг/кг.

Таблица 2.25

Параметры распределения ванадия в почвах различных ландшафтных областей Байкальского региона

Ландшафтная область	Число проб	Сод-е, мг/кг	Тип почв*			Элементы с высоким коэффициентом корреляции		
			Алл., гор. А	Дел., гор. А	Дел., гор. В	Аллювий, гор. А	Делювий, гор. А	Делювий, гор. В
Байкало-Джугджурская горно-таежная	109	Макс. Ср.	300,0 101,9	300,0 116,6	300,0 115,3	Ni, Co, Cu, Y, Yb, Sc (0,50–0,63)	Cr, Sc (0,53)	Rb, U (0,55–0,58)
Южно-Сибирская горно-таежная (пихтово-кедровая)	143	Макс. Ср.	300,0 103,0	300,0 112,3	300,0 121,5	Ni, Co, Sc (0,55)	–	–
Южно-Сибирская горно-таежная (сосновая с примесью лиственных)	256	Макс. Ср.	300,0 93,8	300,0 106,4	300,0 98,6	Ni, La (0,55)	Y, Yb (0,56)	–
Средне-Сибирская равнинно-платообразная, таежная	16	Макс. Ср.	200,0 134,4	150,0 101,8	200,0 115,5	F (0,58)	Cr, Ga, Hg (0,54–0,62)	Cr, Ni, Cu, Y, Yb, Ag (0,58–0,80)
Южно-Сибирская плоскогорная, лесостепная (ангарская лесостепь)	37	Макс. Ср.	200,0 101,0	300,0 111,7	150,0 98,0	Be, Sn, Y, Yb, Ag, Sc (0,50–0,76)	Ni, Co, Cu, Y, Yb, Sc (0,50–0,62)	Be, Pb, Zn, Y, U (0,55–0,73)
Западно-Забайкальская (даурская степь)	59	Макс. Ср.	200,0 93,6	300,0 109,8	200,0 108,9	Ni, Sc (0,56–0,72)	Cr (0,57)	Cr (0,54)
Онон-Аргунская степная (высоких равнин и денудационных плато)	35	Макс. Ср.	150,0 88,1	300,0 119,7	200,0 103,8	Cr, Ni, Pb, Sn, Y, Yb, Cs, Sc (0,50–0,79)	Cr, Ni, Co, Mo, Yb, B, Sc (0,51–0,80)	Cr, Cu, B, Cs, U (0,51–0,61)

\* Алл. – аллювий, Дел. – делювий.

В почвах максимальные содержания стронция составляют 800–1 500 мг/кг, региональный фон – 208–277 мг/кг. Повышенные содержания этого элемента в почвах отмечены в пределах полосы, протягивающейся от г. Иркутска до поселков Баяндай и Качуг, а также в юго-восточной части полигона, в районе г. Улан-Удэ.

## **2.18. Марганец**

Кларковые содержания марганца в земной коре составляют 900 мг/кг [Беус, 1981; Овчинников, 1990]. Наиболее высокие содержания марганца характерны для основных и средних пород. Средние содержания его в земной коре достигают 1 000 мг/кг. В осадочных породах его содержания повышены в глубоководных глинах и карбонатных породах. В почвах различных стран мира содержания марганца колеблются в пределах 50–5 000 мг/кг, при среднем – 545 мг/кг [Кабата-Пендиас, Пендиас, 1989].

Особенности распределения концентраций марганца в пределах Байкальского полигона следующие. Средние содержания марганца (мг/кг): в коренных породах – 780, в донных отложениях – 1 542, в почвах – 1 026–1 294.

В коренных породах региональный фон марганца составляет 685, а максимальные концентрации достигают 20 000 мг/кг. Геохимическое поле с повышенными содержаниями марганца (до 5 000 мг/кг) приурочено к терригенно-карбонатным породам Сибирской платформы, а также к метаморфическим породам западного побережья Байкала. Восточная часть полигона – площадь Ангаро-Витимского батолита – характеризуется низкими (ниже фоновых) содержаниями марганца в гранитоидах.

В донных отложениях максимальные концентрации марганца составляют 3 %. Для основной части площади юга Сибирской платформы, от г. Иркутска вдоль р. Ангары до Братского водохранилища и от Иркутска в сторону пос. Баяндай, характерны низкие содержания марганца – 400–600 мг/кг, но в пределах этой площади выделяются участки с повышенными содержаниями элемента (1 200–3 600 мг/кг). Наиболее высокие содержания марганца (1 200–4 200 мг/кг) установлены на северо-западной окраине, к югу от Иркутска до оз. Байкал и на северо-западном побережье этого озера. К юго-востоку от озера, в районе р. Селенги, марганца содержится – 900–1 200 мг/кг, а на периферии этой площади выделяются локальные поля с содержанием 1 200–4 200 мг/кг.

В почвах максимальные значения марганца достигают, так же как и в донных отложениях, – 3 % при региональном фоне – 915–1 200 мг/кг. Повышенные содержания отмечаются местами вдоль железнодорожной магистрали и берегов оз. Байкал.

## 2.19. Золото

Средние содержания золота в Южном Прибайкалье составляют (мг/т): в коренных породах – 1,3, в почвах – 6,4–10,5, в донных отложениях – 1,0–2,4 [Распределение и соотношение концентраций ..., 1998]. Эти данные близки кларку осадочных пород (1) [Справочник по геохимии, 1990], кларку верхней континентальной коры (1,8) [Тейлор, Мак-Леннан, 1988] и кларку почв (2) [Брукс, 1986].

В коренных породах содержания золота колеблются от 0,2 до 30 мг/т при региональном фоне – 1 мг/т. Максимальные средние значения этого элемента фиксируются в Ангаро-Ленской, Удино-Витимской и Джида-Витимской СФЗ (соответственно 3,9; 3,5; 11,8 мг/т).

Область с повышенными содержаниями (3–29 мг/т) занимает площадь около 200 кв. км в районе г. Зимы, вторая область расположена к северу и юго-западу от г. Улан-Удэ.

В донных отложениях по всем гранулометрическим классам (< 0,18, < 1, 0,25–1 и 1–3 мм) аномальные концентрации золота отмечены в северо-западной части площади: в районе городов Зимы, Черемхово, а также на водоразделе рек Анги и Бугульдейки.

В почвах средние содержания золота на исследованной территории составляют (в мг/т): в почвах склоновых (делювиальных) отложений – 10,5, а в почвах пойменных (аллювиальных) отложений – 6,4, при колебаниях от 0,2 до 451. Региональный фон для обоих типов почв – 1,5. Средние значения содержаний в почвах гор. А различных СФЗ зависят от состава почвообразующих пород и колеблются от 0,5 до 5,7 мг/т. В разрезах почв они изменяются от 0,1 до 7,2 мг/т. Наиболее высокие средние содержания золота свойственны для почв Ангаро-Ленской, Присяянской и Прибайкальской СФЗ (соответственно 3,4; 26,9; 7,2 мг/т). В распределении содержаний золота на рассматриваемой площади фиксируется своеобразная латеральная зональность, наиболее отчетливо она проявлена в почвах гумусового горизонта: высокие содержания золота (от 8 до 30 мг/т) – в северной части территории, сложенной кембрийскими отложениями. Более низкие содержания (2–8 мг/т) отмечаются в пределах преимущественно юрских образований, а на их периферии – фрагментарные поля фоновых содержаний.

Соотношение концентраций золота в целом по изученной площади в системе коренные породы – почва склоновых отложений – почва пойменных отложений – донные отложения представляется как 1 : 0,6 : 0,4 : 0,2.

Особенности распределения золота дают основание считать в целом южную часть Сибирской платформы потенциально перспективной на золотое оруденение.

## **2.20. Олово**

Более высокие содержания олова свойственны для кислых (45 мг/кг) и осадочных пород (30 мг/кг). В почвах содержания олова составляют 10 мг/кг. В Прибайкалье средние содержания олова составляют (мг/кг): в коренных породах – 2,9, в почвах – 2,4–2,5 (среднее – 2,4), в донных отложениях – 2,8. Эти значения существенно ниже кларка для осадочных пород и почв (10 мг/кг). Сравнительно более высокие средние содержания олова в почвах отмечаются (мг/кг): в Прибайкальской (2,9), Удино-Витимской (3,0) и Присяянской (3,1) СФЗ, а также в Средне-Сибирской равнинно-плоскогорной, таежной ландшафтной области (2,73). Во всех компонентах окружающей среды ореолы с относительно повышенными содержаниями олова (3–6 мг/кг) расположены в основном в одних и тех же районах: на локальных участках Сибирской платформы, преимущественно на левобережье р. Ангары и в прибрежных районах северо-западной и юго-восточной частях оз. Байкал.

## **2.21. Серебро**

Средние содержания серебра в небольшой части проб (лишь в 95 пробах из 870 проанализированных содержание серебра выше предела обнаружения (0,1 мг/кг)) составляет (мг/кг): 0,23 в коренных породах 0,50 в почвах и 0,33 в донных отложениях. Эти содержания превышают кларки от 2 до 10 раз. В связи с недостаточной чувствительностью анализа особенности распределения этого элемента на площади полигона установить не удалось. Можно лишь указать на ряд моментов. Так, участки с содержанием в донных отложениях 0,1–0,3 мг/кг отмечены в двух районах: городах Иркутске – Шелехове и Братского водохранилища от р. Ангары до пос. Качуг. В почвах аллювиальных отложений фиксируемые содержания серебра (0,23–0,28 мг/кг) отмечены в северо-западной и юго-восточной частях полигона. На всей остальной площади полигона содержания этого элемента менее 0,1 мг/кг.

# **Глава 3**

## **ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТОКСИЧНЫХ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОЧВАХ ПРИБАЙКАЛЬЯ**

### **3.1. Ассоциации токсичных химических элементов**

На основе компьютерной классификации с использованием многомерного анализа [Евдокимова, 1978; Китаев, 1990] шестнадцати химических элементов (U, Hg, F, Be, Pb, Cu, Zn, Mo, Mn, V, Cr, Ni, Co, Y, Sr, Be) и построения карт их содержаний в аллювиальных почвах Прибайкалья было выделено 20 ассоциаций химических элементов, объединенных в пять групп: ртутные, фторовые, урановые, свинцовые и стронциевые (рис. 3.1).

Практически на всей площади полигона в аллювиальных почвах общим фоном является распространение фтор-ртутных или ртуть-фтор-урановых ассоциаций с различными уровнями содержаний этих элементов и с незначительными концентрациями в некоторых местах других элементов. Наиболее высокие коэффициенты концентраций в таких ассоциациях имеют следующие элементы: U – 209, Hg – 11, F – 4,7. Ассоциации с максимальными концентрациями перечисленных элементов тяготеют преимущественно к районам расположения городов Шелехова, Ангарска, Усоля-Сибирского, Северобайкальска, к верховью р. Белой, к юго-восточной части полигона (западнее г. Улан-Удэ), а также к отдельным локальным точкам, находящимся в разных местах полигона.

В северо-западной части исследованной площади и в прибрежных северо-западной и юго-восточной частях оз. Байкал преобладают урановые ассоциации с невысокими содержаниями ртути, бериллия, фтора и других элементов.

В средней части восточного побережья оз. Байкал в почвах фиксируются в основном кобальт-стронциевая ассоциация с невысокими коэффициентами контрастности.

Средние содержания элементов в аллювиальных почвах в данном регионе составляют: U – 3,6, F – 178, Hg – 0,03 (табл. 3.1).

Свинцовая ассоциация с цинком характерна для отдельных локальных мест, максимальную площадь (около 50 кв. км) она занимает в северной части побережья Байкала, где расположено Холоднинское полиметаллическое месторождение.

№№ групп классов	Количество точек	Геохимические формулы ассоциаций элементов					ΣКс - (n-1)	Степень опасности
		Очень высокие кк до 240	Средние кк > 3-10	Низкие кк > 1,5-3	Название ассоциации	Усл. обоз.		
1	47	U	U	Mo F Mg B Pb Co Mn Cu Y	урановая		8,3-211,2	чрезвычайно опасная и умеренно опасная
2	363	Hg Mg	U Hg	Y F Pb Be Mo Mn Be B Hg Cu Co	ртутная		5,7-32,6	умеренно опасная и допустимая
3	7		Pb F Zn Pb Sr	Co V Cu Y Ni V Pb Mo	свинцовая		9,8-19,2	умеренно опасная и допустимая
4	31		F Hg	U Co Zn F Cr Cu	фторовая		2,2-13,8	допустимая
5	208			F Co Sr Mo Pb Cu Zn Be Y Mn B	стронциевая		5,4-7,1	допустимая
6	30			Mg Co Mn Mo F	фоновая		4,8	допустимая

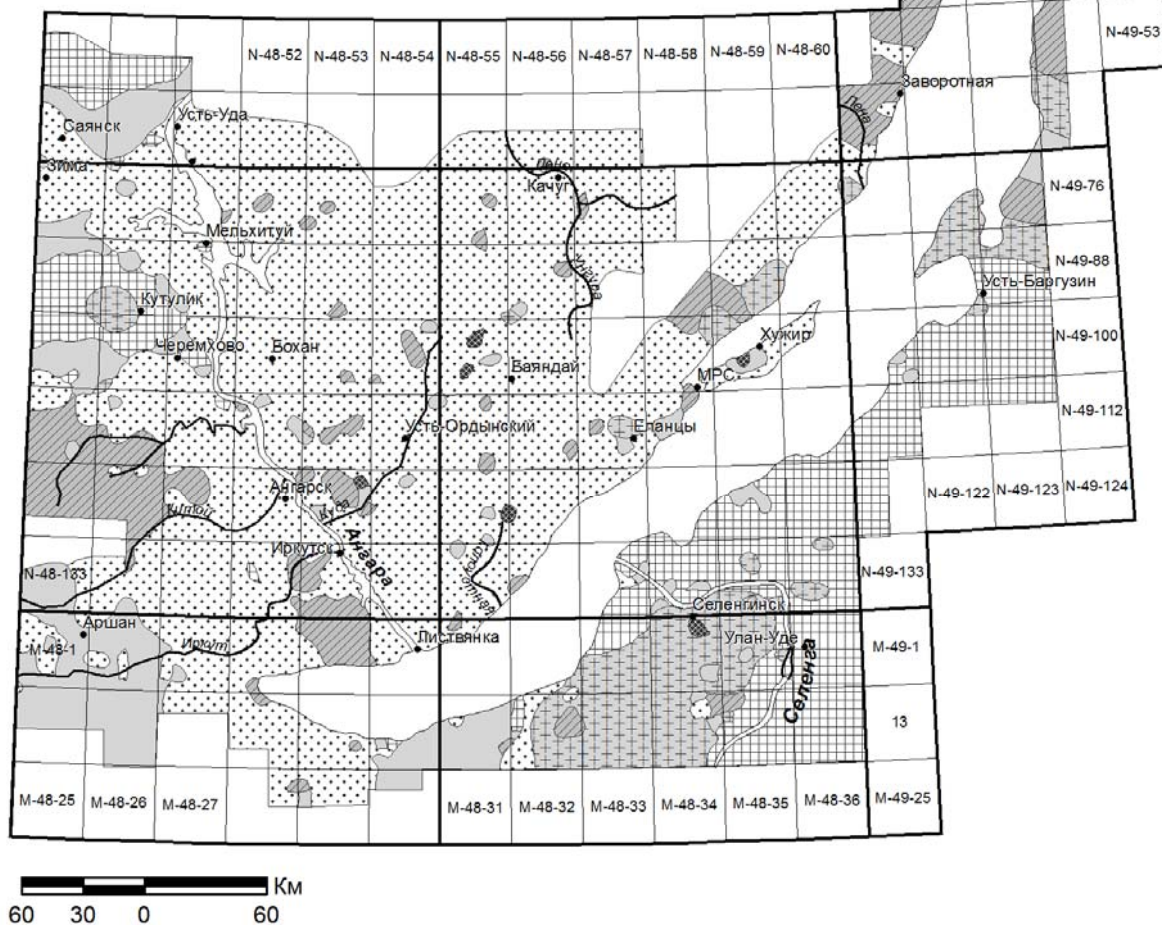


Рис. 3.1. Распределение ассоциаций токсичных химических элементов в аллювиальных почвах (гор. А) на площади Байкальского региона

Ассоциация фтора с ураном и ртутью отмечается в аллювиальных почвах в западной части изученной территории и по берегам Байкала в северной его части.

Отличительной чертой почв делювиальных отложений гор. А (далее по тексту – делювиальные почвы) является некоторое преобладание фтора над ураном в юго-восточном обрамлении оз. Байкал и преобладание ртути над фтором на всей изученной площади полигона. Почвы де-



лювиальных отложений гор. В отличаются от почв гор. А отсутствием повышенных концентраций урана в пределах юго-восточной части полигона. Преобладающей ассоциацией здесь является фторовая с молибденом, стронцием и другими металлами. Суммарные коэффициенты\* ( $K_c$ ) в пределах чрезвычайно опасных участков колеблются в пределах 22,5–211,2. Остальная часть относится к допустимой степени опасности, где  $K_c$  фиксируются в пределах 1,1–20,2.

Таблица 3.1

Средние и максимальные содержания токсичных элементов в почвах Прибайкалья

Элемент	Содержания элементов, в мг/кг					
	Аллювиальные, горизонт А		Делювиальные, горизонт А		Делювиальные, горизонт В	
	Ср.	Макс.	Ср.	Макс.	Ср.	Макс.
U	3,60	307,3	2,38	47,73	2,38	32,44
Hg	0,03	2,4	0,022	0,23	0,02	0,12
F	177,97	900	256,76	3 000	211,43	2 000
Be	3,42	10	3,52	30	3,57	13
Pb	11,62	80	10,89	100	10,97	60
Cu	46,71	100	44,06	100	42,47	100
Zn	82,51	300	88,46	300	91,52	400
Mo	3,87	15	3,53	10	3,21	15
Mn	1 186	30 000	1 292	8 000	1007	10 000
V	110,68	400	116,19	300	120,95	1 200
Cr	101,88	400	106,39	1 500	100,09	1 500
Ni	42,02	100	42,59	800	44,66	600
Co	17,02	50	16,75	80	18,21	80
Y	35,46	100	37,36	150	38,81	100
Sr	292,91	1 500	249,87	800	288,49	800
Be	28,48	80	25,1	100	26,26	100

В делювиальных почвах гор. В участки с умеренно опасной степенью загрязнения установлены, главным образом, в пределах западного побережья оз. Байкал, в районе г. Шелехова, в Бурятии и на западном участке полигона.

Главными элементами-загрязнителями в регионе являются F, Hg, U, Be, Cr, Mn, V, Zn, Co.

В делювиальных почвах гор. А и аллювиальных почвах гор. А большинство опасных участков выявлены практически в одних и тех же районах и в меньшей мере совпадают с таковыми в почвах гор. В, хотя также тяготеют к побережью оз. Байкал.

\* Количественное значение степени опасности рассчитывалось по формуле  $K_c = \sum_{n-1} (n-1)$  [Методические указания ..., 1987]. Территории подразделяются на чрезвычайно опасные ( $K_c > 128$ ), опасные ( $K_c = 32-128$ ), умеренно опасные ( $K_c = 16-32$ ) и допустимые ( $K_c < 16$ ).

### **3.2. Особенности распределения токсичных химических элементов в почвах на площадях различных структурно-формационных зон**

Для СФЗ Прибайкалья выявлены разные ассоциации наиболее высоких средних содержаний химических элементов в почвах (табл. 3.2), различные уровни коэффициентов концентраций относительно фоновых содержаний (табл. 3.3), относительно их кларков (табл. 3.4) и ПДК (табл. 3.5).

Почвообразующими породами Ленской подзоны *Ангаро-Ленской СФЗ* являются преимущественно карбонатно-глинистые, карбонатно-галогенно-гипсоносные и алевролит-песчаниковые породы (см. рис. 3.2). Геохимическими особенностями почв, развитых на этих породах, являются избыточные содержания относительно кларка Hg, U, Y, Zn, Co, B и Cu; пониженные содержания Be, F, Pb, Cr (КК до 0,5); близки к кларку Mo, Ni, V (см. табл. 3.3). Наиболее высокие средние содержания элементов, по сравнению с другими зонами, установлены для F, Zn, Cr, B, Cu практически во всех типах почв (см. табл. 3.2), а содержания Hg, Y, Cr и B достигают значений одного ПДК и выше (табл. 3.5) [Контроль химических и биологических ..., 1998].

В почвах в пределах *Юрского угленосного бассейна*, где почвообразующими породами являются преимущественно алевролиты, конгломераты, песчаники, угли, повышенные содержания относительно кларка имеют Hg, U, Y, Zn, Mo, Co, B и Cu; близки к кларку – Pb и Ni. Наиболее высокие относительно других зон средние содержания имеют Be, Ni, Y, Cu. Концентрации Y, Cr, Mo и B достигают значений ПДК.

Геохимической особенностью почв в пределах *Присаянской СФЗ*, сложенной в основном гнейсами, амфиболитами, кристаллосланцами, вулканогенно-карбонатно-терригенными и гранитоидными породами, являются повышенные относительно кларка содержания Hg, Y, Zn, Mo, Co, B, Cu; меньше кларка – Be, F, Cr; близки к кларку – U, Pb, Ni, V. Наиболее высокие средние содержания по сравнению с другими зонами имеют Hg, Zn, Y, Cr, Ni (см. табл. 3.2). Содержания Hg, Y, Cr, Mo, B достигают значений ПДК.

*Прибайкальская СФЗ* сложена гнейсами, кристаллосланцами, кварцитами, мигматит-гранитами, рапакивигоподобными гранитами, граносиенитами, лейкогранитами, алевролитами, песчаниками, карбонатными породами, флишоидными сланцами, алевролитами, песчаниками. Для почв, развитых на этих породах, характерны избыточные относительно кларка содержания Hg, U, Y, Zn, Mo, Co, B, Cu; пониженные содержания Be, F, Cr; на уровне кларка – Pb, Ni, V. Наиболее высокие средние содержания в почвах этой СФЗ установлены для Hg, U, Zn, Cu, V. Содержания Hg, U, Y, Mo, B достигают значений ПДК.

Таблица 3.2

Токсичные химические элементы в почвах различных структурно-формационных зон  
с наиболее высокими их средними содержаниями, мг/кг

Типы почв	Структурно-формационные зоны		
	Ленская подзона Ангаро-Ленской СФЗ	Юрский угленосный бассейн Ангаро-Ленской СФЗ	Присяянская
Аллювиальные, гор. А	F Zn Cr Mo B Cu 134 84 107 3,46 30,6 51,6	Be U Y Cr Mo Ni Co B Cu V 3,58 2,17 35 112 4,86 44,8 20,6 3,50 51,2 106	Hg Be Pb Y Zn Cr Mo Ni Co Cu V 0,022 3,55 12,7 36,9 90 109 4,38 47,5 21,3 49,2 133,6
Делювиальные, гор. А	F Y Zn Cr Ni B Cu V 133 34,1 86 11,4 4,54 34,8 53,1 120	Be Hg Y F Ni Cu 3,43 0,019 34,3 132 4,71 43,6	Hg Zn 0,024 86
Делювиальные, гор. В	Hg Zn Cr Y B Cu Ni V 0,022 81 101 40,0 33,9 47,8 44,4 117,1	Zn Ni 85 50	Hg F B Y Zn Cr Ni Co V 0,019 138 32,5 35,8 92 119 46,0 21,7 116,9
Типы почв	Структурно-формационные зоны		
	Прибайкальская	Байкальская	Хамар-Дабанская
Аллювиальные, гор. А	Be U Y Zn Ni Co Cu V 3,63 3,50 49,1 81 45,9 20,2 50,9 111,1	F Pb Zn Mo B 139 16,2 82 4,31 30,0	F Mo Ni B V 173 4,32 42,7 32,0 108,2
Делювиальные, гор. А	Hg U Zn 0,027 2,76 90	Be U Pb 3,29 2,06 14,7	F Y Zn Mo Ni B Cu V 121 40,0 86 4,50 46,4 40,7 40,7 105,1
Делювиальные, гор. В	Hg U Zn Be Y Cu V 0,022 3,43 81 3,56 39,4 50,2 115,5	Pb Y Zn Cu 12,3 36,7 87 45,3	Y Zn Ni Co B 37,1 94 47,1 21,4 38,6
Типы почв	Структурно-формационные зоны		
	Удино-Витимская	Байкальский полигон <sup>6</sup>	
Аллювиальные, гор. А	Hg U Pb Zn Mo B 0,026 7,41 16,3 90 4,00 33,1	Hg Be U F Pb Y Zn Cr Mo Ni Co B Cu V Mn Sr 0,012 2,95 0,16 132 11,7 32,4 83 92 3,65 39,8 16,9 25,7 42,9 102,8 998 259	
Делювиальные, гор. А	Hg U Zn 0,027 2,76 90	Hg Be U F Pb Y Zn Cr Mo Ni Co B Cu V Mn Sr 0,013 3,17 0,31 164 10,9 35,0 88 95 3,28 40,0 16,8 22,5 40,8 109,2 1157 217	
Делювиальные, гор. В	Hg U Zn Be Y Cu V 0,022 3,43 81 3,56 39,4 50,2 115,5	Hg Be U F Pb Y Zn Cr Mo Ni Co B Cu V Mn Sr 0,017 3,22 0,56 143 11,0 36,4 92 88 2,96 41,5 18,2 23,5 38,6 110,1 910 260	

<sup>6</sup> Здесь наиболее высокие средние содержания по полигону в целом.

Таблица 3.3

Коэффициенты концентраций токсичных химических элементов  
в почвах различных структурно-формационных зон (относительно фона)

Структурно-формационная зона	Hg	Be	U	F	Pb	Y	Zn	Cr	Mo	Ni	Co	B	Cu	V	Mn	Sr
Ангаро-Ленская Ленская подзона	1,32	0,71	1,16	1,49	0,92	1,29	1,41	1,34	1,38	1,11	1,62	1,53	1,72	1,16	-	-
	1,63	0,99	1,77	1,48	0,87	1,14	1,23	1,43	1,43	1,30	1,52	1,93	1,47	1,41	-	-
	2,22	1,00	1,68	1,28	0,95	1,33	1,01	1,44	1,29	1,27	1,30	1,70	1,36	1,38	-	-
Юрский угленос- ный бассейн	1,03	1,19	1,55	0,83	0,90	1,40	1,27	1,40	1,95	1,28	2,06	1,75	1,71	1,25	-	-
	1,92	1,16	1,78	1,47	1,23	1,06	1,14	1,06	1,46	1,35	1,37	1,27	1,21	1,07	-	-
	1,45	0,94	1,24	1,22	1,13	1,14	1,06	1,14	1,40	1,43	1,81	1,22	1,13	1,02	-	-
Присаянская	2,16	1,18	0,97	1,39	1,41	1,47	1,49	1,36	1,75	1,36	2,13	1,44	1,64	1,57	-	-
	2,42	0,86	1,09	0,95	1,24	1,05	1,22	1,09	1,52	1,08	1,26	1,39	1,14	1,00	-	-
	1,87	1,08	0,92	1,72	1,15	1,19	1,15	1,70	1,43	1,31	1,44	1,63	0,94	1,37	-	-
Прибайкальская	1,95	1,21	2,50	1,20	1,14	1,96	1,36	1,15	1,27	1,31	2,02	1,07	1,70	1,31	-	-
	2,74	0,93	2,76	1,14	0,93	1,01	1,29	0,94	1,20	0,80	0,95	1,10	1,22	0,98	-	-
	2,19	1,19	3,43	1,51	1,03	1,31	1,01	1,37	1,32	1,01	1,23	0,99	1,44	1,36	-	-
Байкальская	1,72	1,15	0,55	1,54	1,80	0,84	1,37	0,95	1,72	1,02	1,53	1,80	1,04	1,10	-	-
	1,76	1,10	2,06	1,27	1,63	0,98	1,04	1,01	1,49	0,92	0,97	1,17	1,10	1,08	-	-
	1,80	1,05	0,74	1,56	1,37	1,22	1,08	1,03	1,33	0,79	1,22	0,84	1,29	1,21	-	-
Хамар-Дабанская	1,63	0,90	0,34	1,93	1,15	0,86	1,26	1,20	1,73	1,22	1,83	1,60	1,05	1,27	-	-
	0,76	1,05	0,92	1,34	1,13	1,33	1,22	1,16	1,80	1,33	1,41	2,26	1,13	1,24	-	-
	0,81	1,10	0,88	3,30	1,21	1,24	1,18	1,17	1,20	1,35	1,43	1,93	0,82	1,21	-	-
Удино-Витимская	2,60	1,10	5,3	2,22	1,81	0,80	1,5	0,85	1,60	1,00	1,75	1,66	0,88	1,06	-	-
	3,22	1,03	1,67	2,07	1,94	1,08	1,43	0,85	1,50	0,80	1,37	0,56	0,66	1,55	-	-
	1,00	1,11	-	1,66	1,30	1,11	1,25	0,96	1,47	0,76	1,28	0,84	0,38	1,37	-	-
Байкальский поли- гон	1,23	0,98	1,15	1,47	1,30	1,30	1,38	1,15	1,46	1,14	1,69	1,29	1,43	1,21	1,17	1,30
	1,26	1,27	0,31	1,82	1,21	1,17	1,10	1,19	1,31	1,14	1,29	1,25	1,13	1,28	1,29	1,21
	1,70	1,29	0,56	1,79	1,22	1,21	1,15	1,26	1,18	1,19	1,21	1,18	1,10	1,30	1,30	1,30
Фоновые содержа- ния, %	$10^{-6}$	$10^{-4}$	$10^{-6}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-2}$	$10^{-4}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-3}$	$10^{-2}$	$10^{-2}$
	1,00	3,00	140,	0,90	0,90	2,50	0,60	0,80	2,50	3,50	1,00	2,00	3,00	8,50	8,50	2,00
	1,00	2,50	100,00	0,90	0,90	3,00	0,70	0,80	2,50	3,50	1,30	1,80	3,60	8,50	9,00	1,80
	1,00	2,50	100,00	0,80	0,90	3,00	0,80	0,70	2,50	3,50	1,50	2,00	3,50	8,50	7,00	2,00

Таблица 3.4

Коэффициенты концентраций\* токсичных химических элементов в почвах различных структурно-формационных зон (относительно кларков)

Структурно-формационная зона	B	Y	Cu	Co	Zn	U	Mo	Hg	Pb	V	Ni	F	Be	Cr	K <sub>c</sub> **
Ангаро-Ленская Ленская подзона	3,06	2,16	2,58	1,62	1,69	1,62	1,38	1,32	0,83	0,99	0,96	0,67	0,36	0,54	6,8
	3,48	2,27	2,65	1,98	1,73	1,77	1,43	1,63	0,78	1,20	1,13	0,67	0,49	0,57	8,8
	3,39	2,67	2,39	1,95	1,62	1,68	1,29	2,22	0,87	1,17	1,11	0,51	0,50	0,51	8,9
Юрский угленос- ный бассейн	3,50	2,30	2,56	2,06	1,52	2,17	1,95	1,03	0,81	1,06	1,12	0,36	0,60	0,56	8,7
	2,29	2,29	2,18	1,79	1,59	1,78	1,46	1,92	1,11	0,91	1,18	0,66	0,58	0,43	7,2
	2,43	2,15	1,97	1,82	1,69	1,24	1,40	1,45	1,02	0,87	1,25	0,49	0,57	0,40	5,3
Присянская	2,88	2,46	2,46	2,13	1,79	1,35	1,75	2,16	1,27	1,34	1,19	0,63	0,59	0,55	9,6
	2,51	2,10	2,05	1,64	1,71	1,09	1,52	2,42	1,11	0,85	0,95	0,43	0,43	0,44	6,3
	3,25	2,39	1,65	2,17	1,83	0,92	1,43	1,87	1,03	1,16	1,15	0,69	0,54	0,60	7,7
Прибайкальская	2,13	3,27	2,54	2,02	1,63	3,49	1,27	1,95	1,03	1,11	1,15	0,54	0,60	0,46	10,2
	2,00	2,01	2,19	1,23	1,80	2,76	1,20	2,74	0,84	0,83	0,70	0,51	0,47	0,38	6,7
	1,98	2,63	2,51	1,85	1,62	3,43	1,32	2,19	0,93	1,15	0,89	0,60	0,59	0,48	9,2
Байкальская	3,00	1,39	1,57	1,53	1,64	0,76	1,72	1,72	1,62	0,94	0,89	0,70	0,57	0,38	5,4
	2,11	1,96	1,98	1,26	1,46	2,06	1,49	1,76	1,47	0,91	0,81	0,57	0,55	0,41	5,8
	1,67	2,44	2,27	1,84	1,73	0,74	1,33	1,80	1,23	1,03	0,69	0,63	0,53	0,36	5,3
Хамар-Дабанская	3,20	1,44	1,58	1,83	1,51	0,47	1,73	1,63	1,03	1,08	1,07	0,87	0,45	0,48	5,4
	4,07	2,67	2,04	1,83	1,71	0,92	1,80	0,76	1,02	1,06	1,16	0,60	0,52	0,47	7,6
	3,86	2,48	1,43	2,14	1,89	0,88	1,20	0,81	1,08	1,02	1,18	1,32	0,55	0,41	7,3
Удино-Витимская	3,31	1,33	1,32	1,75	1,80	3,50	1,60	2,60	1,63	0,90	0,88	1,00	0,55	0,34	13,4
	1,00	2,17	1,19	1,75	2,00	1,67	1,50	3,22	1,75	1,32	0,70	0,93	0,51	0,34	6,5
	1,67	2,22	0,67	1,67	2,00	-	1,47	1,00	1,17	1,16	0,67	0,66	0,56	0,34	3,3
Байкальский полигон	2,57	2,16	2,15	1,69	1,66	1,61	1,46	1,23	1,17	1,03	1,00	0,66	0,49	0,46	9,6
	2,25	2,33	2,04	1,68	1,76	1,31	1,31	1,26	1,09	1,09	1,00	0,82	0,53	0,48	7,9
	2,35	2,43	1,93	1,82	1,84	0,56	1,18	1,70	1,10	1,10	1,04	0,72	0,54	0,44	7,5
n	-3	-3	-3	-3	-2	-6	-4	-6	-3	-3	-3	-2	-4	-2	-2
Кларк, %*10 <sup>n</sup>	1,00	1,50	2,00	1,00	0,50	100,0	2,50	1,00	1,00	10,00	4,00	2,00	6,00	2,00	3,00

Таблица 3.5

Коэффициенты концентраций токсичных химических элементов  
в почвах различных структурно-формационных зон (относительно ПДК)

Структурно-формационная зона	Hg	Be	U	F	Pb	Y	Zn	Cr	Mo	Ni	Co	B	Cu	V	Mn	Sr
Ангара-Ленская Ленская подзона	0,63	0,21	0,51	0,34	0,26	<b>1,08</b>	0,77	<b>1,07</b>	0,86	0,49	0,54	<b>1,02</b>	0,86	0,66		
	0,78	0,30	0,55	0,33	0,25	<b>1,14</b>	0,78	<b>1,14</b>	0,90	0,57	0,66	<b>1,16</b>	0,88	0,80	-	-
	<b>1,06</b>	0,30	0,53	0,26	0,27	<b>1,33</b>	0,74	<b>1,01</b>	0,81	0,56	0,65	<b>1,13</b>	0,80	0,78		
Юрский угленосный бассейн	0,49	0,36	0,68	0,19	0,25	<b>1,17</b>	0,69	<b>1,12</b>	<b>1,22</b>	0,56	0,69	<b>1,17</b>	0,85	0,71		
	0,91	0,34	0,56	0,33	0,35	<b>1,14</b>	0,72	0,86	0,91	0,59	0,60	0,76	0,73	0,60	-	-
	0,69	0,28	0,39	0,25	0,32	<b>1,07</b>	0,77	0,80	0,87	0,63	0,61	0,81	0,66	0,58		
Присаянская	<b>1,03</b>	0,36	0,42	0,31	0,40	<b>1,23</b>	0,81	<b>1,09</b>	<b>1,09</b>	0,59	0,71	0,96	0,82	0,89		
	<b>1,15</b>	0,26	0,34	0,21	0,35	<b>1,05</b>	0,78	0,86	0,77	0,47	0,55	0,84	0,68	0,57	-	-
	0,89	0,33	0,29	0,34	0,32	<b>1,19</b>	0,83	<b>1,19</b>	0,89	0,58	0,72	<b>1,08</b>	0,55	0,77		
Прибайкальская	0,93	0,36	<b>1,09</b>	0,27	0,32	<b>1,64</b>	0,74	0,92	0,79	0,57	0,67	0,71	0,85	0,74		
	<b>1,30</b>	0,28	0,86	0,26	0,26	<b>1,01</b>	0,82	0,75	0,75	0,35	0,41	0,75	0,73	0,55	-	-
	<b>1,04</b>	0,36	<b>1,07</b>	0,30	0,29	<b>1,31</b>	0,74	0,96	0,83	0,44	0,62	0,66	0,84	0,77		
Байкальская	0,82	0,34	0,24	0,35	0,51	0,70	0,75	0,76	<b>1,08</b>	0,44	0,51	<b>1,00</b>	0,52	0,62		
	0,84	0,33	0,64	0,29	0,46	0,98	0,66	0,81	0,93	0,40	0,42	0,70	0,66	0,61	-	-
	0,85	0,32	0,23	0,31	0,39	<b>1,22</b>	0,79	0,72	0,83	0,35	0,63	0,56	0,76	0,69		
Хамар-Дабанская	0,78	0,27	0,15	0,43	0,33	0,72	0,69	0,96	<b>1,08</b>	0,53	0,61	<b>1,07</b>	0,53	0,72		
	0,36	0,31	0,29	0,30	0,32	<b>1,33</b>	0,78	0,93	<b>1,50</b>	0,58	0,61	<b>1,36</b>	0,68	0,70	-	-
	0,38	0,33	0,28	0,66	0,34	<b>1,24</b>	0,86	0,82	0,75	0,59	0,70	<b>1,29</b>	0,48	0,68		
Удино-Витимская	<b>1,24</b>	0,33	2,31	0,50	0,51	0,67	0,82	0,68	<b>1,00</b>	0,44	0,58	<b>1,10</b>	0,44	0,60		
	<b>1,53</b>	0,30	0,52	0,47	0,55	<b>1,08</b>	0,91	0,68	0,94	0,35	0,58	0,30	0,40	0,88	-	-
	0,48	0,33	-	0,33	0,36	<b>1,11</b>	0,91	0,67	0,92	0,33	0,56	0,56	0,22	0,76		
Байкальский полигон	0,90	0,34	0,50	0,45	0,36	<b>1,18</b>	0,75	<b>1,02</b>	0,97	0,53	0,57	0,95	0,78	0,74	0,79	0,29
	<b>1,03</b>	0,35	0,18	0,41	0,34	<b>1,24</b>	0,80	<b>1,06</b>	0,88	0,53	0,56	0,83	0,73	0,81	0,86	0,25
	0,80	0,39	0,18	0,36	0,37	<b>1,29</b>	0,84	0,96	0,88	0,54	0,56	0,85	0,71	0,83	0,68	0,30
n	-6	-4	-6	-2	-3	-3	-2	-2	-4	-3	-3	-3	-3	-3	-2	-2
ПДК, %*10 <sup>-n</sup>	2,1	10,0	320,0	4,0	3,2	3,0	1,1	1,0	4,0	8,0	3,0	3,0	6,0	15,0	15,0	10,0

В почвах в пределах *Байкальской СФЗ*, сложенной преимущественно мраморами, гнейсами, кристаллосланцами, амфиболитами и гранитоидами, повышены относительно кларка содержания Hg, Pb, Y, Zn, Mo, Co, B, Cu; понижены – Be, U, F, Cr, Ni; содержания примерно равны кларку – V. Наиболее высокие средние содержания свойственны для Pb и Zn, содержания Y, Mo и B достигают значений ПДК.

Геохимической особенностью почв в пределах *Хамар-Дабанской СФЗ*, сложенной кристаллосланцами, карбонатными породами, кварцитами, габброидами, мигматитами, гранитами, песчаниками, гнейсами, гранит-гранодиоритовым комплексом, перидотит-габбровой, габбро-сиенит-гранитной и лейкогранитной формацией, являются повышенные концентрации относительно кларка Y, Zn, Mo, Co, B, Cu; пониженные содержания Hg, Be, U, Cr; содержания на уровне кларков – F, Pb, Ni, V. Содержания Y, Mo, B достигают значений ПДК.

*Удино-Витимская СФЗ* сложена карбонатными, кремнистыми, песчаниковыми углеродсодержащими отложениями, интрузивными породами «пестрого» состава, песчано-конгломератовыми и глинисто-песчаниковыми угленосными отложениями. Почвы, развитые на этих породах, характеризуются повышенными содержаниями относительно кларков Hg, U, Pb, Y, Zn, Co, B; пониженными – Be, F, Cr, Ni; на уровне кларков – Cu, V. Максимальные средние содержания отмечены для Hg, Pb и V. Содержания, достигающие значений ПДК, свойственны Hg, U, Y, Cr, Mo, B.

Все токсичные химические элементы по их концентрации в почвах на площади Байкальского полигона относительно кларков подразделяются на три группы: с избыточным, недостаточным содержанием и содержанием примерно на уровне кларков. К элементам с избыточным содержанием относятся Hg, Y, Zn, Mo, Co, B, Cu; с недостаточным содержанием – Be, U, Cr, F, Sr; с содержаниями на уровне кларков – Pb, Ni, V, Mn. Концентрации иттрия достигают значений ПДК.

Некоторые химические элементы имеют избыточное содержание, превышающее кларк в несколько раз. Так, средние содержания ртути в почвах превышают кларк до 3,2 раза, а наиболее высокие содержания свойственны для почв Присаянской (КК = 1,87–2,42), Прибайкальской (КК = 1,95–2,74) и Удино-Витимской СФЗ (КК = 1,0–3,2). Минимальные содержания ртути в почвах свойственны для Хамар-Дабанской СФЗ (КК = 0,76–1,63). В целом в регионе содержание ртути превышает кларк в 1,23–1,7 раза.

Концентрации иттрия примерно близки во всех СФЗ, а превышение среднего его содержания на площади полигона колеблется в пределах 2,16–2,43. Содержания меди, как и иттрия, близки во всех СФЗ, лишь незначительно меньше они в Байкальской, Хамар-Дабанской и Удино-Витимской СФЗ. Средние КК по Байкальскому полигону составляют 1,93–2,15. Концентрации бора в Прибайкальской, Байкальской и Удино-Витимской СФЗ несколько меньше по сравнению со всеми другими СФЗ, а средние КК равны 2,35–2,57.

Концентрации Hg, В, Y, Cu превышают кларки в два и более раза; Zn, Mo, Co – примерно в полтора раза. Содержания Be, Cr ниже кларка примерно в 2 раза. Средние содержания практически всех изученных элементов во всех СФЗ выше фоновых. Наиболее высокие КК относительно фона на площади полигона свойственны для Hg (1,23–1,70) и F (1,47–1,82). Несколько выше КК фтора относительно фона в Присаянской, Хамар-Дабанской и Удино-Витимской СФЗ. Средние содержания остальных элементов превышают фон в 1,14–1,56 раза.

Из вышеизложенного можно видеть, что токсичные химические элементы по уровням своих концентраций в почвах образуют ассоциации (табл. 3.6): во всех СФЗ Hg, Y, Zn, Co, В, Cu являются избыточными по отношению к кларку, а Y, В, Mo практически везде достигают значений ПДК.

Таблица 3.6

Ассоциации токсичных химических элементов с различными уровнями концентраций

Структурно-формационная зона	Наиболее высокие содержания	Содержания относительно кларков и ПДК		
		Выше кларков	Ниже кларков	Выше ПДК
Ангаро-Ленская Ленская подзона	F, Zn, Cr, В, Cu	Hg, U, Y, Zn, Co, В, Cu	Be, F, Pb, Cr	Hg, Y, Cr, В
Юрский угленосный бассейн	Be, Ni, Y, Cu	Hg, U, Y, Zn, Mo, Co, В, Cu	Be, F, Cr, V	Y, Cr, Mo, В
Присаянская	Hg, Zn, Y, Cr, Ni	Hg, Y, Zn, Mo, Co, В, Cu	Be, F, Cr,	Hg, Y, Cr, Mo
Прибайкальская	Hg, U, Zn, Cu, V,	Hg, U, Y, Zn, Mo, Co, В, Cu	Be, F, Cr	Hg, U, Y, Mo, В
Байкальская	Pb, Zn	Hg, Pb, Y, Zn, Mo, Co, В, Cu	Be, U, F, Cr, Ni	Y, Mo, В
Хамар-Дабанская	F, Zn, Ni, В, V	Y, Zn, Mo, Co, В, Cu	Hg, Be, U, Cr	Y, Mo, В
Удино-Витимская	Hg, Pb, V	Hg, U, Pb, Y, Zn, Co, В	Be, F, Co, Ni	Hg, U, Y, Cr, Mo, В

На основе табл. 3.3, наглядно подтвержденной рис. 3.2, можно сделать выводы по разбросу (дисперсии) значений КК в различных структурно-формационных зонах, подразделяющихся три группы:

- а) малый разброс (до 0,25 КК) – Be (0,09–0,24), Cr (0,22–0,25);
- б) небольшой разброс (до 0,75 КК) – Ni (0,36–0,58), Mo (0,25–0,68), Co (0,50–0,74);
- в) средний разброс (в некоторых СФЗ отклоняющийся до 2,0 КК) – F (0,27–0,64 (0,84), Pb (0,35–0,50 (0,97), Zn (0,38–0,55 (1,43), Y (0,52–0,71 (1,95);
- г) значительный разброс (до 7 КК) – Cu (1,27–1,84), Hg (1,40–2,50), В (1,37–3,07), U (1,82–6,94).



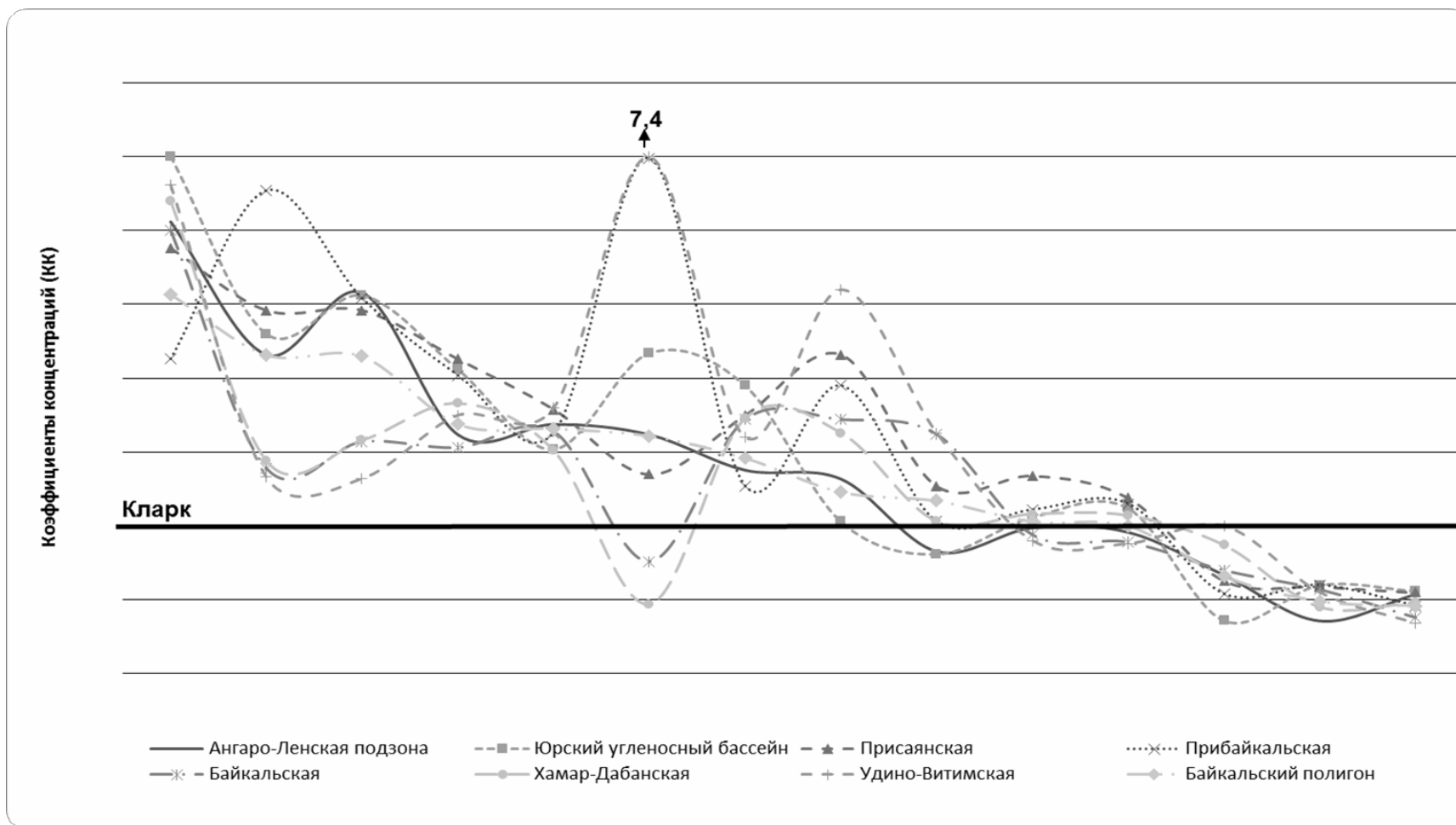


Рис. 3.2. Пределы колебаний коэффициентов концентраций токсичных химических элементов в аллювиальных почвах в различных структурно-формационных зонах

Все химические элементы групп «а» и «б» отражают преимущественно особенности материнских пород СФЗ; химические элементы группы «в» также характеризуют «материнские» особенности пород, но здесь накладывается и техногенный их привнос (где разброс КК в однотипных СФЗ отклоняется от среднего). Следовательно, в данном случае они характеризуют уже региональные особенности. Химические элементы группы «г» определяют суммарно как особенности материнских пород, так и региональные особенности.

По уровням значений КК (относительно кларка) токсичные химические элементы в различных СФЗ можно условно подразделить на три группы (рис. 3.2): высокие (КК > 2), средние (КК = 1–2), низкие (КК < 1).

Самые высокие концентрации ртути в Удино-Витимской СФЗ, самые низкие – в Хамар-Дабанской. Высокие концентрации свинца установлены в Удино-Витимской СФЗ, низкие – в Ленской подзоне. Оптимальные содержания цинка отмечены в Удино-Витимской СФЗ, низкие – в Байкальской и Юрском угленосном бассейне. Самые высокие содержания иттрия фиксируются в Прибайкальской и Хамар-Дабанской СФЗ, самые низкие – в Байкальской СФЗ.

Приведенные результаты свидетельствуют о том, что в Удино-Витимской зоне значителен техногенный привнос (или наличие рудопроявлений) фтора, свинца и цинка; в Хамар-Дабанской – фтора; в Байкальской – свинца.

Наиболее высокие содержания никеля в почвах установлены в Юрском угленосном бассейне, Присаянской и Хамар-Дабанской СФЗ; молибдена – в Присаянской; кобальта – в Присаянской; хрома – в Ленской подзоне; бериллия – в Прибайкальской СФЗ. Самые низкие содержания: никеля и хрома – в Удино-Витимской, молибдена – в Прибайкальской, кобальта – в Байкальской, бериллия – в Ленской подзоне.

Итак, геохимические различия почв каждой из рассматриваемых зон характеризуются максимальными и минимальными уровнями значений КК элементов относительно других СФЗ (табл. 3.7).

Таблица 3.7

Максимальные и минимальные КК токсичных химических элементов в СФЗ

Структурно-формационная зона	Максимальные КК	Минимальные КК
Ангаро-Ленская Ленская подзона	Cu, Cr	Be, Pb
Юрский угленосный бассейн	Ni, Cr	Zn, F
Присаянская	Mo, Co	
Прибайкальская	U, Y, Hg, Be	B, Mo
Байкальская	Pb	Y, Co
Удино-Витимская	Hg, F, Pb, Zn	Cu, Ni, Cr
Хамар-Дабанская	B	U, Hg

В целом по уровням значений КК в среднем по Байкальскому полигону химические элементы располагаются в следующем порядке (от самого высокого к самому низкому (см. рис. 3.2, табл. 3.3):

- в аллювиальных почвах, гор. А: В, Y, Cu, Co, Zn, U, Hg, Mo, Pb, V, Ni, F, Be, Cr;

- в делювиальных почвах, гор. А: Y, Hg, В, Cu, Zn, Co, U, Mo, Pb, V, Ni, F, Be, Cr;

- в делювиальных почвах, гор. В: Y, В, Cu, Zn, Co, Hg, U, Mo, V, Pb, Ni, F, Be, Cr.

Средние содержания химических элементов в пределах рассматриваемого региона относительно кларков характеризуются следующим образом. Во всех компонентах окружающей среды содержания Sc, Nb, Y, Yb, La, Ga, Li близки к их кларкам; Rb, Cs – ниже кларка. Эти данные, естественно, отражают средний петрографический состав горных пород, слагающих регион. Содержания химических элементов в различных СФЗ колеблются в незначительных пределах. Вместе с тем Сибирская платформа и ее обрамление несколько отличаются количественными значениями ряда элементов. Так, Ангаро-Ленская СФЗ, сложенная преимущественно осадочными образованиями, характеризуется несколько повышенными относительно других СФЗ средними содержаниями (мг/кг): Li (до 20,3), La (до 42), Rb (до 20,5).

### **3.3. Особенности распределения токсичных химических элементов в почвах различных ландшафтных областей<sup>7</sup>**

В различных ландшафтных областях, так же как и в структурно-формационных зонах, имеются некоторые различия в наборе наиболее высоких средних содержаний токсичных химических элементов (рис. 3.3, табл. 3.8) и в уровнях коэффициентов концентраций относительно их кларков (табл. 3.9).

Геохимической особенностью Байкало-Джугджурской горно-таежной ландшафтной области являются: наиболее высокие средние содержания F, Mo, Zn и V; концентрации, превышающие кларковые, Hg, Y, Zn, Co, В и Cu; содержания на уровне кларков F, Pb, Mo, Ni (табл. 3.10).

---

<sup>7</sup> Ландшафтные зоны выделены на основе [Карта ландшафтов ..., 1977].

Таблица 3.8

Наиболее высокие средние содержания (мг/кг) токсичных химических элементов  
в почвах различных ландшафтных областей

Типы почв	Ландшафтная область			
	Байкало-Джугджурская горно-таежная	Южно-Сибирская горно- таежная (пихтово-кедровая)	Южно-Сибирская горно-таежная (со- сновая с примесью лиственных)	Средне-Сибирская равнинно- плоскогорная, таежная
Аллювиальные, гор. А	Hg F Mo 0,02 176 364	Hg Zn 0,02 84	U F 2,67 185	Be U Pb Y Zn Cr Mo Ni Co B Cu V 3,77 2,16 13,2 45,5 95 131 3,75 50,9 21,4 30,9 52,7 134,4
Делювиальные, гор. А	F Zn Cr Mo V 288 92 110 3,7 4 116	Hg U Zn V 0,03 1,51 90 112,3	Be F 3,14 240	Hg Be U F Y Zn Cr Ni Cu 0,03 3,08 1,50 226 38,1 93 112 50,6 51,9
Делювиальные, гор. В	Be Zn Mo Co B V 3,01 95 3,09 19,5 30,7 115	Hg Be Y Zn Mo V 0,02 3,11 39,1 91 3,17 121,5	Be F Zn Ni 2,95 201 92 44,4	Hg Be U F Pb Y Cr Ni Cu V 0,02 3,36 1,44 314 13,2 38,9 113 51,8 47,3 115,5

Типы почв	Ландшафтные области		
	Южно-Сибирская плоскогорная, лесостепная (ангарская лесостепь)	Западно-Забайкальская (даурская степь)	Онон-Аргунская степная (высо- ких равнин и денудационных пла- то)
Аллювиальные, гор. А	Hg F Y Cr Ni Cu 0,02 188 38,4 124 45,7 52,8	Pb Zn 13,4 84	Hg F Cr 0,02 200 116
Делювиальные, гор. А	F Cr Ni B V 239 139 48,4 30,3 111,7	Be Y Zn Cr Cu 3,31 37,3 101 106 48	U F Y Cr Ni Cu V 1,54 251 38,9 139 45,6 50,3 119,7
Делювиальные, гор. В	Ni 46,1	Be Mo 3,12 3,13	Y Ni Cu 37,5 49 47,0

Таблица 3.9

Коэффициенты концентраций\* токсичных химических элементов в почвах различных ландшафтных областей  
(относительно кларков)

Ландшафтная область	B	Y	Cu	Co	Zn	U	Mo	Hg	Pb	V	Ni	F	Be	Cr	Z <sub>c</sub> **
Байкало-Джугджурская горно-таежная	2,59	1,84	1,82	1,72	1,49	0,86	1,46	2,25	1,17	1,02	0,92	0,88	0,43	0,47	5,9
	2,98	2,20	1,94	1,69	1,83	1,46	1,49	1,88	0,98	1,17	1,02	1,44	0,48	0,55	8,1
	3,07	2,42	1,83	1,95	1,90	0,87	1,23	1,06	1,04	1,15	1,01	0,81	0,50	0,49	6,3
Южно-Сибирская горно-таежная (пихтово-кедровая)	2,37	2,14	2,26	1,54	1,68	1,72	1,33	2,06	1,11	1,03	0,90	0,70	0,46	0,46	6,8
	2,15	2,24	2,14	1,47	0,80	1,51	1,26	2,71	0,94	1,12	0,91	0,78	0,45	0,47	7,0
	2,19	2,60	2,13	1,83	1,83	1,12	1,27	2,01	1,03	1,22	0,93	0,71	0,52	0,46	6,8
Южно-Сибирская горно-таежная (сосновая с примесью лиственных)	2,54	2,02	2,05	1,56	1,60	2,68	1,40	1,75	1,10	0,94	0,99	0,92	0,46	0,47	7,5
	2,36	2,28	1,89	1,71	1,71	0,56	1,24	1,88	1,02	1,06	1,04	1,20	0,52	0,50	6,0
	2,51	2,54	1,76	1,73	1,84	0,40	1,04	1,28	1,07	0,99	1,11	1,00	0,49	0,43	5,0
Средне-Сибирская равнинно-плоскогорная, таежная	3,09	3,03	2,64	2,14	1,89	2,16	1,50	1,84	1,32	1,34	1,27	0,77	0,63	0,66	11,3
	2,19	2,54	2,59	1,63	1,85	1,50	1,13	2,71	1,03	1,02	1,27	1,13	0,64	0,56	8,8
	2,73	2,60	2,36	1,77	1,78	1,44	1,05	2,09	1,32	1,15	1,30	1,57	0,56	0,57	9,3
Южно-Сибирская плоскогорная, лесостепная (ангарская лесостепь)	2,72	2,56	2,64	1,56	1,53	1,95	1,43	2,15	0,84	1,01	1,14	0,94	0,32	0,62	8,4
	3,03	2,26	2,19	1,82	1,62	1,02	1,19	1,73	0,99	1,11	1,21	1,20	0,44	0,70	7,5
	2,90	2,40	1,78	1,66	1,77	0,98	1,02	1,62	0,85	0,99	1,15	0,85	0,45	0,50	5,9
Западно-Забайкальская (даурская степь)	2,37	1,91	1,99	1,49	1,68	1,20	1,38	1,87	1,34	0,94	0,98	0,73	0,46	0,48	5,8
	2,39	2,48	2,40	1,45	2,01	1,39	0,84	1,92	0,93	1,10	1,03	0,71	0,55	0,53	6,7
	2,29	2,40	2,12	1,59	1,77	0,99	1,25	1,81	0,99	1,09	0,97	0,70	0,52	0,44	5,9
Онон-Аргунская степная (высоких равнин и денудационных плато)	2,54	2,15	2,14	1,29	1,94	1,88	1,29	2,03	0,59	0,88	0,96	1,00	0,26	0,58	5,9
	2,83	2,60	2,51	1,77	0,77	1,53	1,26	1,83	0,92	1,20	1,39	1,26	0,49	0,70	8,1
	3,08	2,50	2,35	1,80	1,68	1,24	0,84	1,66	1,06	1,04	1,23	0,69	0,43	0,52	7,1
n	-3	-3	-3	-3	-2	-6	-4	-6	-3	-3	-3	-2	-4	-2	-
Кларк, %*10 <sup>n</sup>	1,00	1,50	2,00	1,00	0,50	100,0	2,50	1,00	1,00	10,00	4,00	2,00	6,00	2,00	-

\*КК – отношение среднего содержания элемента к его кларку; верхняя строка – КК в аллювиальных почвах, средняя – в делювиальных, гор. А, нижняя – в делювиальных гор. В. \*\*Z<sub>c</sub> = K<sub>n</sub> – (n–1).

Ассоциации токсичных химических элементов  
с различными уровнями их содержаний

Ландшафтная область	Наиболее высокие средние содержания	Содержания		
		Выше кларков	Ниже кларков	Выше ПДК
Байкало-Джугджурская горно-таежная	F, Mo, Zn, V	Hg, Y, Zn, Co, B, Cu	Be, U, Cr	Hg, Y, Cr, B
Южно-Сибирская горно-таежная (пихтово-кедровая)	Hg, Zn, V	Hg, U, Y, Zn, Mo, Co, B, Cu	Be, F, Cr, Ni	Hg, Y
Южно-Сибирская горно-таежная (сосновая с примесью лиственничных)	F, Be	Hg, Y, Zn, Co, B, Cu	Be, U, Cr,	Y
Средне-Сибирская равнинно-платообразная, таежная	Be, U, Pb, Y, Cr, Ni, Cu, V,	Hg, Y, Zn, Co, B, Cu	Be, Cr	Hg, Y, Cr, B
Южно-Сибирская плоскогорная, лесостепная (ангарская лесостепь)	F, Ni	Hg, Y, Zn, Co, B, Cu	Be, Pb, Cr	Hg, Y, Cr, B
Западно-Забайкальская (даурская степь)	Zn, Be	Hg, Y, Zn, B, Cu	Be, F, Cr	Y, Cr
Онон-Аргунская степная (высоких равнин и денудационных плато)	F, Cr, Ni, Cu	Hg, Y, Co, B, C	Be, Cr	Y, Cr, B

Южно-Сибирская горно-таежная (пихтово-кедровая) ландшафтная область отличается: наиболее высокими средними содержаниями Hg, Zn и V; превышающими кларковые – Hg, U, Y, Zn, Mo, Co, B, Cu; на уровне кларковых – Pb, V; ниже кларковых – Be, F, Cr, Ni. Средние содержания всех рассматриваемых химических элементов превышают фоновые в 1,04–2,71 раза; содержания ртути и иттрия достигают значений ПДК.

Особенностью Южно-Сибирской горно-таежной (сосновой с примесью лиственничных) ландшафтной области являются: наиболее высокие средние содержания F и Be; превышающие кларковые, Hg, Y, Zn, Co, B, Cu; на уровне кларковых – F, Pb, Mo, Ni и V; ниже кларковых – Be, U и Cr. Средние содержания всех указанных элементов превышают фоновые в 1,05–2,68 раза, содержания иттрия достигают значений ПДК.

Геохимической особенностью Средне-Сибирской равнинно-платообразной, таежной ландшафтной области являются: наибольшее число токсичных элементов с наиболее высокими средними содержаниями – Be, U, Pb, Y, Zn, Cr, Ni, Cu, V; высокими КК относительно кларка – Hg, Y, Zn, Co, B, Cu; на уровне кларков – U, F, Pb, Mo, Ni, V; ниже кларков – Be, Cr. Средние содержания всех указанных химических

элементов превышают фоновые в 1,01–2,66 раза. Содержания Hg, Y, Cr, B достигают значений ПДК.

Южно-Сибирская плоскогорная, лесостепная (ангарская лесостепь) ландшафтная область отличается: наиболее высокими средними содержаниями F и Ni; превышающими кларки – Hg, Y, Zn, Co, B, Cu; на уровне кларков – U, F, Mo, Ni, V; менее кларков – Be, Pb, Cr. Средние содержания всех токсичных элементов превышают фоновые в 1,02–2,66 раза; содержания Hg, Y, Cr, B достигают значений ПДК.

Особенностью Западно-Забайкальской (даурская степь) ландшафтной области являются: повышенные средние содержания Zn и Be; превышающие кларковые содержания – Hg, Y, Zn, B, Cu; на уровне кларковых – U, Pb, Mo, Ni, Co, V; ниже кларковых – Be, F, Cr. Средние содержания всех химических элементов превышают фоновые в 1,03–1,92 раза, концентрации Y, Cr достигают значений ПДК.

Геохимической особенностью Онон-Аргунской степной (высоких равнин и денудационных плато) ландшафтной области являются: наиболее высокие средние содержания – F, Cr, Ni и Cu; избыточные относительно кларковых – Hg, Y, Co, B, Cu; на уровне кларковых – U, F, Pb, Zn, Mo, Ni, V; менее кларковых – Be, Cr. Средние содержания всех токсичных элементов превышают фоновые в 1,02–2,79 раза; содержания Y, Cr, B достигают значений ПДК.

Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что токсичные элементы с наиболее высокими средними содержаниями, с различными уровнями содержаниями относительно кларковых образуют конкретные ассоциации (табл. 3.10). Можно видеть, что содержания Hg, Y, Zn, Co, B, Cu практически во всех областях являются избыточными по отношению к кларку и в ряде зон достигают значений ПДК.

Геохимические различия ландшафтных областей выражены в следующем. Все токсичные химические элементы по разбросу (дисперсии) значений КК (относительно кларка) во всех типах почв в различных ландшафтных областях подразделяются, так же как и в СФЗ, на четыре группы (см. табл. 3.9, рис. 3.3):

- а) малый разброс (до 0,25 КК) – Be (0,12–0,20), Cr (0,14–0,24);
- б) небольшой разброс (до 0,5 КК) – Pb (0,12–0,46), Ni (0,37–0,52), V (0,15–0,47);
- в) средний разброс (до 1,0 КК) – F (0,3–0,87), Mo (0,21–0,67), Co (0,37–0,86), Cu (0,63–0,72);
- г) большой разброс (> 1,0 КК) – U (1,0–1,8), Zn (0,22–1,26), Y (0,27–1,12), B (0,72–0,96).

Оказалось, что по степени разброса КК токсичные элементы сравнимы с таковыми по СФЗ, т. е. минимальные разбросы КК свойственны для Be, Cr, F, а максимальные – для U, Y. По уровню значений КК (от-

носителем кларка) токсичные элементы также подразделяются на три группы (рис. 3.3): высокие ( $КК > 2$ ), средние ( $КК = 1-2$ ), низкие ( $КК < 1$ ). В Средне-Сибирской равнинно-платообразной, таежной ландшафтной области наиболее высокие  $КК$  по сравнению с другими ландшафтными областями свойственны для большинства токсичных элементов:  $Cu, Y, Zn, U, Co, Ni, Pb, Cr, Be$ . В других ландшафтных областях порядок уровней  $КК$  всех элементов различен.

Итак, геохимические различия каждой из рассматриваемых ландшафтных областей характеризуются максимальными и минимальными уровнями значений  $КК$  относительно других ландшафтных зон (табл. 3.11).

Таблица 3.11

Максимальные и минимальные уровни значений  $КК$  в ландшафтных областях

Ландшафтная область	Максимальные $КК$	Минимальные $КК$
Байкало-Джугджурская горно-таежная	$B, Co, Mo, V$	$Cu, Y, U, Be$
Южно-Сибирская горно-таежная (пихтово-кедровая)	$Hg, V$	$B, Ni, F, Cr$
Южно-Сибирская горно-таежная (сосновая с примесью лиственных)	$Pb$	$Cu, U, V, Cr$
Средне-Сибирская равнинно-платообразная, таежная	$Cu, Y, Zn, U, Co, Ni, Pb, Cr, Be$	$Mo, F$
Южно-Сибирская плоскогорная, лесостепная (ангарская лесостепь)	$F, Cr$	$Zn, Be$
Западно-Забайкальская (даурская степь)	$Be$	$Pb, Y, Co, F$
Онон-Аргунская степная (высоких равнин и денудационных плато)	$Cr, Y$	$Be, Zn, Pb, Hg$

Для горных ландшафтов (Байкало-Джугджурская, Южно-Сибирские) по мере уменьшения относительных высот количество токсичных элементов с высокими  $КК$  в почвах уменьшается:  $B, Co, Mo, V, Hg, V, Pb$ .



### **3.4. Особенности миграции токсичных химических элементов в почвах Прибайкалья**

Особенности миграции изученной группы элементов рассматриваются в системах: а) делювиальные почвы гор. В – делювиальные почвы гор. А и б) делювиальные почвы гор. А – аллювиальные почвы гор. А. В радиальном направлении первой системы и латеральном направлении второй изменение содержания элементов происходит по трем типам (см. табл. 3.4, 3.9): наиболее высокие содержания – в первых и меньшие – во вторых; наиболее высокие содержания – во вторых и меньшие – в первых и примерно одинаковые содержания в тех и других. Ассоциации химических элементов в ландшафтных областях и структурно-формационных зонах, образуемых по этим трем типам, показаны в табл. 3.12. Наиболее высокие содержания химических элементов во всех СФЗ и ландшафтных областях несколько меняются как в почвах гор. В, вблизи почвообразующих пород, так и в поверхностных горизонтах почв, хотя ряд токсичных элементов устойчивы в том или ином типе почв. Ассоциации химических элементов, устойчивые в почвах гор. В, свидетельствуют, очевидно, о том, что они свойственны непосредственно для почвообразующих пород; ассоциации химических элементов, устойчивые в поверхностных горизонтах почв, свидетельствуют, вероятно, о двойственной их природе. С одной стороны, может происходить интенсивная радиальная миграция этих элементов из почвообразующих пород и накопление в верхних горизонтах почв, с другой – не исключена возможность техногенного накопления этих элементов в верхних горизонтах почв. Ниже рассмотрим поведение каждого химического элемента в отдельности.

#### **Ртуть**

Во всех ландшафтных областях, за исключением Байкало-Джугджурской, и всех СФЗ, за исключением Хамар-Дабанской и Удино-Витимской, в нижнем горизонте делювиальных почв (гор. В) содержание ртути избыточное по отношению к кларку. Особенно это характерно для Ленской подзоны, Прибайкальской СФЗ, Южно-Сибирских горно-таежных и Средне-Сибирской равнинно-плоскогорной ландшафтных областей, где превышение средних содержаний над кларком более 2 раз (см. табл. 3.9). На площади этих территорий повышенное содержание ртути в почвах унаследовано, очевидно, в значительной мере от материнских пород. Одновременно во всех ландшафтных областях и четырех из семи СФЗ – Юрском угленосном бассейне, Присаянской, Прибайкальской, Удино-Витимской – более высокие содержания ртути отмечаются в поверхностном горизонте делювиальных почв относительно таковых гор. В.

Таблица 3.12

Ассоциации токсичных элементов по относительному содержанию  
их в различных горизонтах почв

Структурно-формационная зона, ландшафтная область (1–7)	Наиболее высокие содержания			
	делювиальные почвы		делювиальные почвы гор. А	аллювиальные почвы гор. А
	гор. В	гор. А		
Ангаро-Ленская Ленская подзона	Hg, Y, Pb (Be, Cr) <sup>8</sup>	U, F, Zn, Mo, Co, Cu (Ni, V)	Hg, Be, U, Cr, Mo, Ni, B, V	Pb, Y, Zn, Co, Cu (F)
Юрский угленосный бассейн	Cr, Ni (Co)	Hg, Be, U, F, Pb, Y, Zn, Mo, Cu (B, V)	Hg, U, F, Pb, Ni	Y, Zn, Cr, Mo, Co, B, Cu, V (Be)
Присяянская	Be, F, Y, Cr, Ni, Co, B, V	Hg, U, Pb, Zn, Mo, Cu	Hg, U	Be, F, Pb, Y, Zn, Cr, Mo, Ni, Co, Cu, V (B)
Прибайкальская	Be, U, F, Pb, Y, Cr, Mo, Ni, Co, Cu, V	Hg, Zn, B	Hg, U, Y, Cu (B)	Be, F, Pb, Zn, Cr, Mo, Ni, Co, V
Байкальская	F, Y, Cu, Co, V (Hg, Zn, Cr)	U, Pb, Mo, Ni, B (Be)	U, Y, (Hg, Cr, Cu)	F, Pb, Zn, Mo, Ni, Co, B (Be, V)
Хамар-Дабанская	Pb, F (Hg, Be, Co, Cr, Ni)	Y, Mo, B, Cu (U, Zn, V)	Be, U, Y, B, Ni, Cu (Mo)	Hg, F, Co (Pb, Zn, Cr, V)
Удино-Витимская	U, Cr, B (Be, Y)	Hg, F, Pb, Zn, Co, Cu, V (Mo, Ni)	Hg, Pb, Y, V (Cr)	U, F, B, Ni, Co, Cu (Be, Zn, Mo)
Байкало-Джугджурская горно-таежная	Y (Be, Pb, Cr, Co)	Hg, U, F, Zn, Mo, B (Ni, Cu, V)	Be, U, F, Cr, Ni, B, V (Zn, Mo)	Hg, Pb, Co, Cu (Y)
Южно-Сибирская горно-таежная (пихтово-кедровая)	Be, Pb, Y, Cr, V (Mo, Ni, Co, Cu)	Hg, U, F, Zn, B	Hg, Be, F, V (Cr, Ni, B)	U, Pb, Y, Zn, Co, Cu (Mo)
Южно-Сибирская горно-таежная (сосновая с примесью лиственных)	Ni (Pb, Y)	Hg, Be, U, F, Mo, Co (Zn, Cr, B, Cu, V)	Hg, Be, F, V (Cr, Ni, B)	U, Zn, Mo, Co, Cu (Pb, Y)
Средне-Сибирская равнинно-платообразная, таежная	F, Pb, Cr, B, V (Y, Ni)	Hg, Be, Zn, Mo, Cu (U, Co)	Hg, Be, F, Co (Ni)	U, Pb, Y, Zn, Cr, Mo, B, Cu, V
Южно-Сибирская плоскогорная, лесостепная ангарская лесостепь	(Be, Y)	Hg, F, Pb, Cu, Cr, Mo, Co, B, V (U, Zn, Ni)	Be, F, Pb, Cr, B, V (Ni)	Hg, U, Y, Zn, Co, Mo, Cu
Западно-Забайкальская (даурская степь)	F, Mo (Pb)	Hg, U, Zn, Ni, Cu (Be, V, Y, Cr, Co, B)	Be, U, Y, Cr, V, (Hg, Zn, Ni, B, Cu)	Pb, Mo, Co (F)
Онон-Аргунская степная (высоких равнин и денудационных плато)	Pb, Ni	Hg, Be, U, F, Zn, Cr, Mo, Co, V (Y, B, Cu)	Be, F, Pb, Zn, Cr, Ni, B, V (Y, Co)	Hg, U (Mo, Cu)

<sup>8</sup> В скобках показаны элементы, содержания которых незначительно превышают концентрации в различных горизонтах почв.

Это в свою очередь свидетельствует, с учетом малоподвижности ртути в кислых и восстановительных условиях при выветривании [Кабата-Пендиас, Пендиас 1989], о дополнительной техногенной природе ее повышенных содержаний в поверхностном горизонте делювиальных почв на площади Байкальского полигона, за исключением Ленской подзоны, Байкальской и Хамар-Дабанской СФЗ. В связи с легколетучестью ртути не исключена возможность поступления и ювенильной ртути по тектоническим разломам в некоторых районах, например в Присяянской и Прибайкальской СФЗ, для которых свойственны наиболее высокие ее КК относительно кларка (соответственно 1,87–2,42 и 1,95–2,74).

Накопление ртути в поверхностном горизонте почв связано, очевидно, с уровнем содержания органического углерода, о чем свидетельствует корреляция их максимальных и минимальных средних содержаний в некоторых СФЗ (табл. 3.13). Коэффициенты миграции ртути в системах «почва делювиальных отложений гор. А – почва делювиальных отложений гор. В» и «почва аллювиальных отложений гор. А – почва делювиальных отложений гор. А» в различных ландшафтных областях и СФЗ различны (табл. 3.14, 3.15). Так, коэффициент миграции ртути из делювиальных почв гор. В в делювиальные почвы гор. А ( $K_m^1$ , см. примечание к табл. 3.14, 3.15) колеблется в СФЗ от 0,73 до 3,22, а в ландшафтных областях – от 1,06 до 1,77. Коэффициент миграции ртути из делювиальных почв гор. А в аллювиальные почвы гор. А ( $K_m^2$ ) колеблется от 0,54 до 2,14 в СФЗ и 0,68–1,26 в ландшафтных областях. Наибольшие значения  $K_m^1$  ртути (1,30–1,77) фиксируются в горно-таежных и преимущественно равнинных ландшафтных областях (Байкало-Джугджурской, Южно-Сибирских горно-таежных, Средне-Сибирской, табл. 3.14) и СФЗ (Юрском угленосном бассейне, Присяянской, Прибайкальской, Удино-Витимской, табл. 3.15), где идет интенсивное накопление органики и закрепление ртути с ней в делювиальных почвах гор. А. В связи с этим  $K_m^2$  на территории этих зон, как правило, невысоки (0,54–0,93), значительно реже – более единицы. Более высокие значения  $K_m^2$  отмечаются в горных районах и степях (в Хамар-Дабанской, Байкальской, Присяянской СФЗ и Байкало-Джугджурской, Южно-Сибирской плоскогорной и Онон-Аргунской ландшафтных областях), где наблюдается интенсивная эрозия почв, обуславливающая накопление органики и в связи с этим малое закрепление ртути в делювиальных почвах гор. А, перенос ее и закрепление в аллювиальных почвах.

Таблица 3.13

Содержания органического углерода и ртути в почвах некоторых СФЗ

Структурно-формационная зона	Hg, $10^{-6}$ %	Углерод, %	Углерод, %
Присяянская	2,42	4,207	12,800
Прибайкальской	2,74	4,752	25,900
Байкальская	1,76	3,569	6,100
Хамар-Дабанская	0,76	1,657	5,700

Таблица 3.14

Коэффициенты миграции\* токсичных химических элементов в почвах различных ландшафтных областей

Химические элементы Ландшафтные области	$\frac{K_m^2}{K_m^1}$	Hg	Be	U	F	Pb	Y	Zn	Cr	Mo	Ni	Co	B	Cu	V	$\Sigma$
Байкало-Джугджурская горно-таежная	2	1,20	0,75	0,59	0,61	1,19	1,01	0,95	0,84	0,98	0,91	1,32	0,78	1,12	0,88	0,94
	1	1,77	0,94	1,68	1,58	0,94	0,91	1,10	0,99	1,21	1,02	1,00	1,07	1,03	1,01	1,25
Южно-Сибирская горно-таежная (пихтово-кедровая)	2	0,76	0,84	1,13	0,89	1,18	1,14	1,09	0,98	1,06	0,98	1,36	1,00	1,27	0,92	1,04
	1	1,35	0,86	1,35	1,10	0,91	0,86	1,12	0,89	0,99	0,98	0,93	1,11	0,96	0,92	1,02
Южно-Сибирская горно-таежная (сосновая с примесью лиственных)	2	0,93	0,73	4,79	0,77	1,06	1,06	1,09	0,95	1,13	0,96	1,18	0,97	1,30	0,88	1,27
	1	1,47	1,07	1,40	1,06	0,95	0,97	1,06	1,02	1,19	0,45	1,15	1,04	1,05	1,08	1,07
Средне-Сибирская равнинно-платообразная, таежная	2	0,68	0,82	1,44	0,69	1,28	1,43	1,20	1,17	1,33	1,00	1,71	1,27	1,22	1,32	1,18
	1	1,30	1,13	1,04	0,64	0,78	0,98	1,19	0,87	1,08	0,98	1,06	0,89	1,07	0,88	0,99
Южно-Сибирская плоскогорная, лесостепная (ангарская лесостепь)	2	1,24	0,59	1,91	0,79	0,85	1,36	1,11	0,89	1,20	0,95	1,11	0,81	1,44	0,91	1,08
	1	1,07	0,97	1,04	1,25	1,16	0,94	1,05	1,22	1,17	1,05	1,26	1,16	1,20	1,13	1,12
Западно-Забайкальская (даурская степь)	2	0,97	0,69	0,86	1,03	1,45	0,93	0,97	0,90	1,64	0,95	1,33	0,99	1,00	0,85	1,04
	1	1,06	1,06	1,40	0,90	0,94	1,03	1,31	1,06	0,67	1,07	1,06	1,04	1,10	1,00	1,05
Онон-Аргунская степная (высоких равнин и денудационных плато)	2	1,26	0,44	1,23	0,79	0,65	0,99	0,88	0,83	1,02	0,85	0,95	0,81	1,02	0,74	0,89
	1	1,10	1,14	1,23	1,61	0,87	1,04	1,20	1,17	1,50	0,93	1,13	1,02	1,04	1,16	1,15

Примечание.\*Коэффициент миграции – частное от деления коэффициентов концентраций (КК) относительно фона ( $K_m^2$ ) в аллювиальных почвах гор. А к таковым в делювиальных почвах гор. А – верхняя строка; и ( $K_m^1$ ) – частное от деления КК в делювиальных почвах гор. А к таковым в делювиальных почвах гор. В – нижняя строка

Таблица 3.15

Коэффициенты миграции\* токсичных химических элементов  
в почвах различных структурно-формационных зон

Химические элементы Структурно- формационная зона	$\frac{K^2_M}{K^1_M}$	Hg	Be	U	F	Pb	Y	Zn	Cr	Mo	Ni	Co	B	Cu	V	Sr	$\Sigma$
Ангара-Ленская Ленская подзона	2	0,81	0,72	0,66	1,01	1,06	1,13	1,15	0,94	0,97	0,85	1,07	0,79	1,17	0,82	0,77	0,91
	1	0,73	0,99	1,05	1,16	0,92	0,85	1,22	0,99	1,11	1,02	1,17	1,14	1,08	1,02	0,99	1,02
Юрский угленосный бассейн	2	0,54	1,03	0,87	0,56	0,73	1,23	1,11	1,32	1,34	0,95	1,50	1,38	1,41	1,17	1,21	1,08
	1	1,32	1,23	1,44	1,20	1,09	1,07	1,08	0,93	1,04	0,94	0,76	1,04	1,07	1,05	1,36	1,09
Присаянская	2	0,89	1,37	1,24	1,47	1,14	1,40	1,22	1,25	1,15	1,26	1,69	1,04	1,44	1,57	1,52	1,27
	1	1,29	0,80	1,18	0,62	1,08	0,88	1,06	0,64	1,06	0,82	0,88	0,85	1,21	0,73	0,82	0,93
Прибайкальская	2	0,71	1,30	0,91	1,05	1,23	1,94	1,05	1,22	1,06	1,64	2,13	0,97	1,39	1,34	1,52	1,28
	1	1,25	0,78	0,80	0,75	0,90	0,77	1,28	0,69	0,91	0,79	0,77	1,11	0,85	0,72	0,73	0,88
Байкальская	2	0,98	1,04	0,37	1,23	1,10	0,71	1,32	0,93	1,15	1,10	1,21	1,42	0,79	1,03	0,93	1,01
	1	0,98	1,04	2,78	0,90	1,20	0,80	0,96	1,14	1,02	1,17	0,68	1,26	0,87	0,88	1,09	1,12
Хамар-Дабанская	2	2,14	0,87	0,51	1,45	1,01	0,54	1,03	1,02	0,96	0,92	1,00	0,79	0,77	1,02	0,71	0,99
	1	0,94	0,95	1,05	0,45	0,94	1,08	1,03	1,15	1,50	0,98	0,86	1,05	1,43	1,04	1,04	1,02
Удино-Витимская	2	0,81	1,08	4,44	1,08	0,93	0,61	1,05	1,00	1,07	1,26	1,00	3,31	1,11	0,68	2,06	1,38
	1	3,22	0,91	-	1,41	1,50	0,98	1,14	1,00	1,02	1,04	1,05	0,60	1,78	1,14	1,97	1,28

\* Коэффициент миграции химических элементов рассчитывается как ( $K^1_M$ ) отношение коэффициентов концентрации (относительно фона) в почвах делювиальных гор. А к таковым в почвах делювиальных гор. В – нижняя строка и ( $K^2_M$ ) – отношение коэффициентов концентраций в почвах аллювиальных гор. А к почвам делювиальным гор. А – верхняя строка.

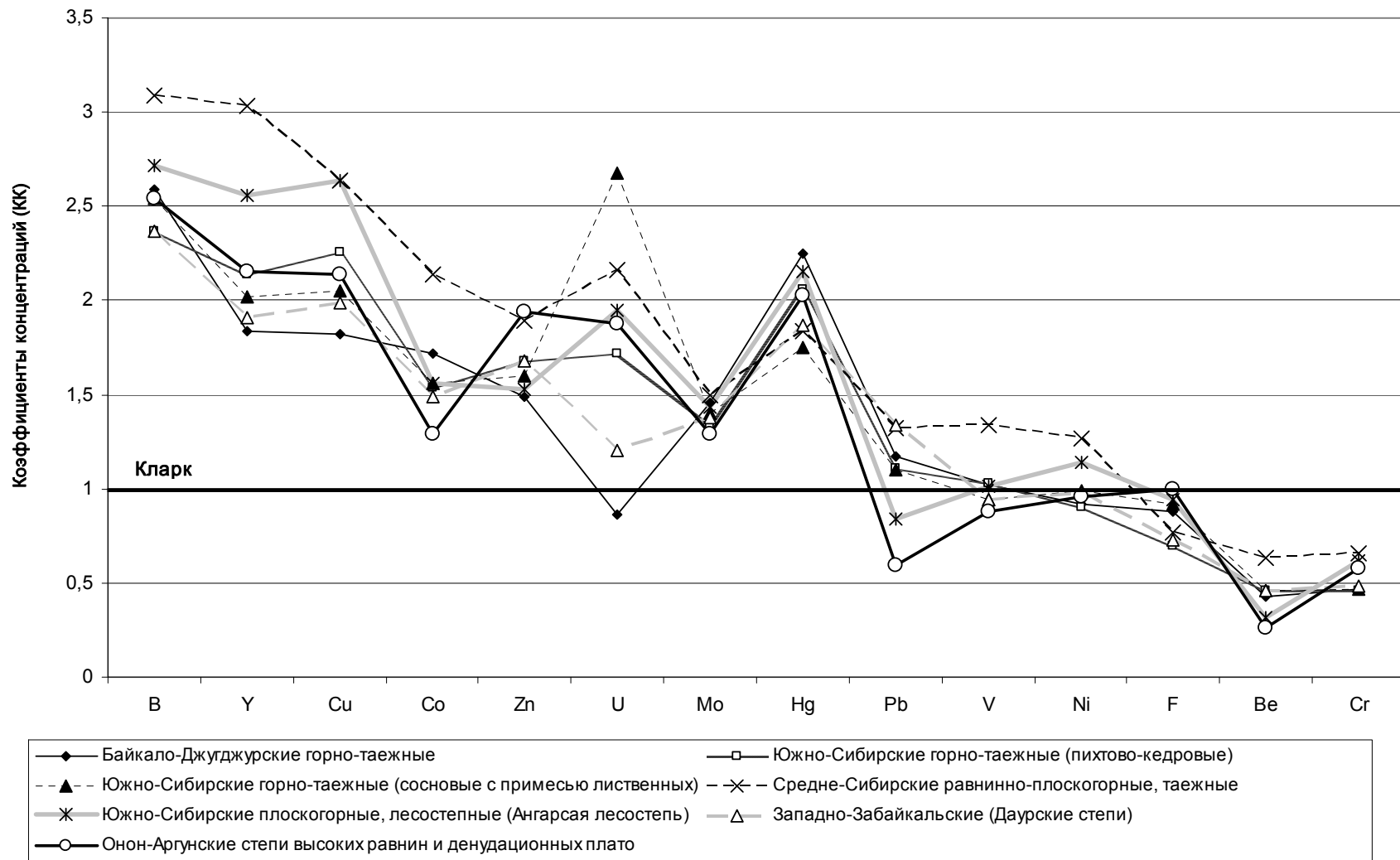


Рис. 3.3. Пределы колебаний коэффициентов концентраций токсичных химических элементов в аллювиальных почвах в различных ландшафтных областях

## Бериллий

Во всех СФЗ и ландшафтных областях содержание бериллия в делювиальных почвах гор. В ниже кларка ( $КК = 0,49-0,64$ ), самое низкое его содержание ( $КК = 0,07$ ) отмечается в почвах Юрского угленосного бассейна. Незначительно превышающие  $КК$  ( $1,10-1,19$ ) относительно фона содержания бериллия фиксируются в почвах горных районов Прибайкалья (Прибайкальской и Байкальской СФЗ). В связи с этим сравнительно более высокие концентрации бериллия в делювиальных почвах гор. В по сравнению с гор. А фиксируются в горно-таежных районах Присянской, Прибайкальской СФЗ, а также в Байкало-Джугджурской и Южно-Сибирской пихтово-кедровой ландшафтных областях ( $2,5$ ). При выветривании пород бериллий сохраняется в остаточных продуктах ( $К_m^1 < 1$ ). В равнинно-таежных и степных ландшафтах – в Юрском угленосном бассейне и в Южно-Сибирской горно-таежной (сосновой с примесью лиственных), Средне-Сибирской, Западно-Забайкальской, Онон-Аргунской ландшафтных областях – максимальные содержания бериллия свойственны для поверхностных горизонтов почв, что свидетельствует, очевидно, о преимущественно его техногенном происхождении ( $К_m^1 > 1$ ). В горных районах Прибайкальской и Присянской СФЗ, вероятно, происходит также миграция бериллия из почв делювиальных отложений в аллювиальные почвы ( $К_m^2 = 1,37-1,30$ ), где, очевидно, он может связываться органическим веществом и глинами. В Байкало-Джугджурской и Южно-Сибирской пихтово-кедровой ландшафтных областях  $К_m^1$  несколько выше ( $0,86-0,94$ ), чем  $К_m^2$  ( $0,75-0,84$ ), т. е. миграция бериллия в аллювиальные почвы из делювиальных гор. А еще более незначительная, чем таковая из делювиальных почв гор. В в почвы гор. А. В равнинно-таежных и степных ландшафтах (в Юрском угленосном бассейне, Байкальской СФЗ и Южно-Сибирской сосновой с примесью лиственных, Средне-Сибирской, Западно-Забайкальской, Онон-Аргунской ландшафтных областях) происходит накопление бериллия в поверхностном горизонте делювиальных почв ( $К_m^1 = 1,06-1,23$ ) (возможно за счет поступления от сжигания углей), а миграция в аллювиальные почвы незначительная ( $К_m^2 = 0,44-0,82$ ). В Ленской подзоне, Байкальской, Хамар-Дабанской, Удино-Витимской СФЗ и Байкало-Джугджурской зоне значения  $К_m^1$  и  $К_m^2$  близки (соответственно  $0,99-0,72$ ;  $1,04$ ;  $0,95-0,87$ ,  $0,91-1,08$ ;  $0,86-0,84$ ), следовательно, идет более равномерное накопление бериллия в почвах делювиальных отложений гор. А и аллювиальных почвах.

## Уран

В нижнем горизонте почв (гор. В) избыточные концентрации урана относительно кларка свойственны для Ангаро-Ленской ( $КК = 1,24-1,68$ ), Прибайкальской ( $3,43$ ) и Удино-Витимской СФЗ, Средне-Сибирской ( $1,44$ ) и Онон-Аргунской ландшафтных зон. Следовательно,

несколько повышенные концентрации этого элемента свойственны для подстилающих пород. Вместе с тем во всех ландшафтных зонах и всех СФЗ, за исключением Прибайкальской и Удино-Витимской, наиболее высокие содержания урана приурочены к верхнему горизонту делювиальных почв гор. А, что может свидетельствовать о, возможно, техногенной природе значительной доли урана в аномалиях, а также миграции его из коренных пород и почв гор. В ( $K_m^1$  урана колеблется в пределах 1,04–2,78). В относительно равнинных и степных ландшафтах (Южно-Сибирской сосновой с примесью лиственных, Средне-Сибирской, Южно-Сибирской плоскогорной, Онон-Аргунской) и Присяянской, Прибайкальской, Удино-Витимской СФЗ  $K_m^2$  больше единицы, что свидетельствует об интенсивной миграции и накоплении урана в почвах пойменных отложений. В горно-таежных ландшафтах (1–2,6) и СФЗ (Ангаро-Ленской, Байкальской, Хамар-Дабанской)  $K_m^2$  меньше единицы. Из этого можно сделать вывод об относительно прочном закреплении его в делювиальных почвах гор. А либо об отсутствии барьеров в аллювиальных почвах горных районов и переносе урана на большие расстояния, в более равнинные ландшафты.

### **Фтор**

Избыточное содержание фтора в делювиальных почвах гор. В относительно его кларка фиксируются лишь в Средне-Сибирской равнинно-плоскогорной, таежной ландшафтной зоне ( $КК = 1,57$ ) и Хамар-Дабанской СФЗ ( $КК = 1,32$ ). Во всех ландшафтных зонах, кроме Средне-Сибирской и Западно-Забайкальской, а также Присяянской и Хамар-Дабанской СФЗ, более высокие содержания фтора фиксируются в поверхностном слое делювиальных почв гор. А ( $K_m$  – от 1,06 до 1,61). Учитывая, что в природных условиях фтор малоподвижен и не накапливается в верхних горизонтах почв, более высокие его содержания на указанных площадях можно объяснить преимущественно техногенным его происхождением. В горно-таежных районах (Присяянской, Прибайкальской, Байкальской, Хамар-Дабанской СФЗ) повышенные содержания фтора в делювиальных почвах гор. В ( $K_m^1$  – от 0,45 до 0,90), очевидно, обусловлено материнскими породами и пониженной миграцией фтора, особенно в известковых породах, а в Средне-Сибирской и Западно-Забайкальской равнинно-плоскогорной, таежной ландшафтных зонах, накопление его в гор. В ( $K_m^1 = 0,64$ ), вероятно, связано с величиной рН среды и наличием глинистого материала, связывающего фтор. В аллювиальных почвах содержание фтора во всех ландшафтных зонах несколько ниже, чем в делювиальных ( $K_m^2 = 0,61–1,03$ ), следовательно, фтор в этой системе менее подвижен; в горных районах (Присяянской, Байкальской, Хамар-Дабанской СФЗ) миграция фтора в рассматриваемой системе более значительна ( $K_m^2 = 1,23–1,47$ ), что обусловлено, оче-



видно, высокой растворимостью фтора в кислых почвах и инертностью к органическому веществу.

### **Свинец**

Повышенное содержание свинца в нижнем горизонте делювиальных почв (гор. В) относительно кларка отмечаются лишь в Байкальской и Удино-Витимской СФЗ (КК = 1,23, 1,17) и Средне-Сибирской равнинно-плоскогорной, таежной ландшафтной зоне, что обусловлено, вероятнее всего, наследованием от материнских пород. Во всех ландшафтных зонах, за исключением Южно-Сибирских и четырех СФЗ (Ангаро-Ленской, Присянской, Прибайкальской, Хамар-Дабанской), более высокие содержания свинца фиксируются в горизонте В делювиальных почв, хотя и концентрации его в гор. А близкие. Следовательно, подвижность свинца в данных условиях не высокая, миграция его в поверхностный горизонт делювиальных почв умеренная ( $K_m^1 = 0,9-1,09$ ). Можно предполагать, что данные содержания свинца унаследованы от коренных пород. В некоторых районах (в Байкальской, Удино-Витимской СФЗ и Южно-Сибирской плоскогорной, лесостепной ландшафтной зоне) содержание свинца выше в поверхностном горизонте почв ( $K_m^1 = 1,16-1,50$ ). Здесь оно обусловлено, возможно, техногенным загрязнением и адсорбируется глинистыми частицами и органическим веществом. Содержания свинца в аллювиальных почвах во всех ландшафтных областях, за исключением Южно-Сибирской плоскогорной, лесостепной и Онон-Аргунской, и всех СФЗ, за исключением Юрского угленосного бассейна и Удино-Витимской, несколько выше, чем в делювиальных почвах гор. А ( $K_m^2 = 1,06-1,28$ ), что свидетельствует о достаточно высокой его миграционной способности в данных районах. В более равнинных условиях (Южно-Сибирская плоскогорная, лесостепная и Онон-Аргунская ландшафтные области и Юрский угленосный бассейн, Байкальская СФЗ) его миграция слабее ( $K_m^2 = 0,65-0,94$ ).

### **Иттрий**

Во всех ландшафтных зонах и СФЗ без исключения содержание иттрия в делювиальных почвах гор. В превышает кларк более чем в 2 раза, что свидетельствует об унаследованности их от материнских пород. Кроме того, во всех ландшафтных зонах и СФЗ Западного Прибайкалья, за исключением Юрского угленосного бассейна и Хамар-Дабанской СФЗ, более высокие содержания иттрия отмечаются в делювиальных почвах гор. В, хотя и содержание в аллювиальных почвах гор. А близки ( $K_m^1 = 0,77-0,98$ ). На основе этих данных можно утверждать, что рассматриваемые содержания иттрия свойственны для коренных пород региона. В пределах же Юрского угленосного бассейна и Восточного Прибайкалья (6, 7 и 1) накопление иттрия в верхнем горизонте делювиальных почв, очевидно, обусловлено смешанной его природой: как коренными породами, так и техногенным загрязнением. Во всех ланд-

шафтных зонах Восточного Прибайкалья, а также Прибайкальской СФЗ, Присянской и Юрском угленосном бассейне Ангаро-Ленской СФЗ содержание иттрия в аллювиальных почвах несколько выше такового в делювиальных почвах гор А. Это свидетельствует, очевидно, о достаточно интенсивной степени миграции этого элемента в данной системе ( $K_m^2$  от 1,01 до 1,94). В Ленской подзоне, Байкальской, Хамар-Дабанской, Удино-Витимской СФЗ и Западно-Забайкальской, Онон-Аргунской ландшафтных областях миграция иттрия в системе несколько слабее ( $K_m^2 = 0,61-0,95$ ).

### **Цинк**

Во всех ландшафтных областях фиксируется избыточное содержание цинка по отношению к кларку в нижнем горизонте делювиальных почв; также во всех ландшафтных областях и СФЗ, за исключением Байкальской, более высокие содержания этого элемента отмечаются в верхнем горизонте делювиальных почв ( $K_m^1 = 1,06-1,31$ ). Эти количественные данные позволяют предполагать смешанный генезис (как природный, так и техногенный) аномальных содержаний цинка на изученной территории. Из литературных данных известно, что в окислительных средах легкорастворимый ион  $Zn^{2+}$  хорошо адсорбируется органическими компонентами, в связи с чем наблюдается его аккумуляция в поверхностном горизонте почв. Поэтому, несмотря на положительную миграцию цинка из делювиальных почв в почвы аллювиальных отложений ( $K_m^2 = 1,03-1,32$ ), поступление этого металла из коренных пород и антропогенных источников в поверхностный горизонт делювиальных почв превышает вынос. Предполагают [Кабата-Пендиас, 1989], что большую роль в его накоплении играет биомасса. Однако в некоторых горных районах (Байкальская СФЗ) происходит более интенсивная миграция цинка в аллювиальные почвы ( $K_m^2 = 1,32$ ), в связи с чем в поверхностном горизонте делювиальных почв не происходит его существенного накопления ( $K_m^1 = 0,96$ ). Вероятно, в таких районах имеется недостаточное количество органического материала в делювиальных почвах гор А.

### **Хром**

Содержания хрома в делювиальных почвах гор В во всех ландшафтных областях и СФЗ Байкальского полигона примерно в два раза ниже кларка, что свойственно для кислых изверженных и осадочных пород, преимущественно слагающих изученную территорию, но превышают региональный фон в 1,2–2 раза. Во всех СФЗ и ландшафтных областях, кроме Южно-Сибирских и Онон-Аргунской провинций, более высокие содержания хрома свойственны для нижних горизонтов делювиальных почв, либо они близки в гор В и гор А. Особенно заметное превышение содержаний в гор В в Присянской и Прибайкальской СФЗ ( $K_m^1 = 0,64-0,69$ ). Очевидно, здесь он присутствует в виде  $Cr^{3+}$ , являющегося инертным в кислой среде, и его соединения стабильны. В Южно-

Сибирских и Онон-Аргунской провинциях, а также Байкальской и Хамар-Дабанской СФЗ более высокие содержания хрома свойственны для гор. А делювиальных почв ( $K_m^1 = 1,14-1,22$ ). Полагают, что на накопление хрома в поверхностном горизонте почв оказывает влияние органическое вещество, стимулирующее восстановление растворимого  $Cr^{6+}$  до нерастворимого  $Cr^{3+}$ . В аллювиальных почвах Юрского угленосного бассейна и Присяянской СФЗ содержания хрома значительно превышают таковые в делювиальных почвах гор. А ( $K_m^2 = 1,22-1,32$ ). В данных зонах в этой системе фиксируется высокая подвижность хрома. В целом полученные результаты свидетельствуют о преимущественно естественной природе повышенных содержаний хрома. В Юрском угленосном бассейне дополнительным источником его, по-видимому, является техногенное загрязнение, обусловленное угольной промышленностью.

### **Молибден**

Средние содержания молибдена в делювиальных почвах гор. В ряде ландшафтных областей близкие к кларку, лишь в горно-таежных ландшафтных областях (Байкало-Джугджурской, Южно-Сибирской пихтово-кедровой и Западно-Забайкальской) и СФЗ незначительно превышают кларк ( $KK = 1,23-1,40$ ). Практически во всех СФЗ и ландшафтных областях содержания молибдена равны или очень незначительно повышены в делювиальных почвах гор. А и гор. В ( $K_m^1 = 0,91-1,19$ ), что, очевидно, свидетельствует о слабой растворимости и малой подвижности его в кислых почвах. Значительное превышение содержаний в верхнем горизонте делювиальных почв ( $K_m^1 = 1,50$ ) фиксируется лишь в Хамар-Дабанской СФЗ и Онон-Аргунской провинции, где значительная часть его, вероятно, связана с органическим веществом. Содержания в аллювиальных почвах близки к таковому в делювиальных почвах гор. А ( $K_m^2 = 0,97-1,15$ ). Лишь в Юрском угленосном бассейне, Средне-Сибирской и Западно-Забайкальской ландшафтных областях происходит значительное накопление молибдена в аллювиальных почвах ( $K_m^2$  соответственно 1,34; 1,33; 1,64). Здесь в системе  $K_m^2$  подвижность молибдена значительно возрастает, возможно, из-за изменяющихся щелочно-кислотных условий среды. Повышенное содержание молибдена в почвах, скорее всего, наследуется от материнских пород, но может быть дополнительно результатом техногенного загрязнения.

### **Никель**

Содержание никеля в делювиальных почвах гор. В во всех ландшафтных областях, провинциях и СФЗ равно или близко к кларку. Лишь в Юрском угленосном бассейне и Присяянской СФЗ концентрации этого элемента немного превышают кларк ( $KK = 1,5-1,15$ ). Во всех ландшафтных зонах, кроме Южно-Сибирской провинции, а также в трех СФЗ (Ангаро-Ленской, Хамар-Дабанской, Удино-Витимской) концентрации никеля в делювиальных почвах гор. А и гор. В практически равны. Следо-

вательно, при выветривании горных пород никель высвобождается и осаждается в верхнем горизонте почв, как считают, с оксидами железа и марганца, а также с органическим веществом. Заметно выше содержания никеля в делювиальных почвах гор. В в Юрском угленосном бассейне, Присянской и Прибайкальской СФЗ ( $K_M^1 = 0,79-0,94$ ) и особенно в Южно-Сибирской провинции ( $K_M^1 = 0,45$ ). Повышенные содержания в этих районах никеля в гор. В относительно кларка и верхнего горизонта почв определяются, очевидно, его содержаниями в материнских породах. Содержания никеля в аллювиальных почвах близки к таковым в делювиальных почвах гор. А во всех ландшафтных областях и провинциях ( $K_M^2 = 0,85-0,91$ ) и трех СФЗ (Ленской подзоне, Юрском угленосном бассейне, Хамар-Дабанской). В остальных СФЗ содержания этого элемента в аллювиальных почвах значительно преобладают ( $K_M^2 = 1,10-1,64$ ). По-видимому, в этих СФЗ (Присянской, Прибайкальской, Байкальской и Удино-Витимской) никель в водных растворах более устойчив и его миграция из делювия происходит более интенсивно. Отмеченные данные свидетельствуют о преимущественно естественной природе аномалий никеля в регионе.

### **Кобальт**

В отличие от никеля, средние содержания кобальта в делювиальных почвах гор. В во всех ландшафтных областях, провинциях и СФЗ превышают кларк. Аналогично никелю, в Юрском угленосном бассейне, Присянской, Прибайкальской и Хамар-Дабанской СФЗ происходит интенсивный вынос кобальта из делювиальных почв гор. А в аллювиальные почвы ( $K_M^2 = 1,21-2,13$ ), а в почвах гор. В его содержание значительно выше, чем в поверхностном горизонте делювиальных почв ( $K_M^1 = 0,68-0,86$ ). Во всех ландшафтных областях содержание кобальта в поверхностном горизонте делювиальных почв несколько выше, чем в почвах гор. В, или равное ( $K_M^1 = 1,00-1,15$ ), в аллювиальных почвах происходит его более значительное накопление ( $K_M^2 = 1,11-1,71$ ). Коэффициент миграции кобальта довольно высок. Повышенные его содержания обусловлены преимущественно естественными процессами.

### **Бор**

Во всех ландшафтных областях и СФЗ концентрации бора в нижнем горизонте делювиальных почв значительно превышают кларк. В большинстве ландшафтных зон и СФЗ концентрации бора в делювиальных почвах гор. А и гор. В практически равны ( $K_M^1 = 1,07-1,02$ ). Лишь в Средне-Сибирской ландшафтной области и Присянской, Удино-Витимской СФЗ содержание бора в почвах гор. А значительно меньше ( $K_M^1 = 0,60-0,89$ ). В то же время в аллювиальных почвах этих зон, а также в Байкальской СФЗ и Юрском угленосном бассейне содержание бора значительно превышает таковые в делювиальных почвах гор. А ( $K_M^2 = 1,27-3,31$ ). Отсюда следует, что в последних зонах бор более лег-

ко переходит в раствор и идет интенсивная миграция его из делювия в аллювий. Природа повышенных концентраций бора имеет естественное происхождение, а в последних указанных областях возможно и дополнительно техногенное заражение.

### **Медь**

Во всех ландшафтных областях и СФЗ концентрации меди превышают кларк примерно в 2 раза. В большинстве ландшафтных областей (Байкало-Джугджурской, Южно-Сибирских горно-таежных, Средне-Сибирской, Онон-Аргунской) и в Ангаро-Ленской СФЗ содержание меди примерно близкие в делювиальных почвах гор. А и гор. В ( $K_M^1 = 0,96-1,07$ ), что подтверждает малоподвижность меди в почвах [Кабата-Пендиас, 1989]. Вместе с тем существует аккумуляция меди в верхних горизонтах почв, обусловленная преимущественно биологическими факторами и, возможно, антропогенным влиянием. Так, в Южно-Сибирской и Западно-Забайкальской ландшафтных областях, а также Присяянской, Хамар-Дабанской и Удино-Витимской СФЗ в почвах гор. А содержание меди заметно выше ( $K_M^1 = 1,10-1,20$ ). Концентрации меди в аллювиальных почвах пяти ландшафтных областей (Байкало-Джугджурской, Южно-Сибирских горно-таежных, Средне-Сибирской, Южно-Сибирской плоскогорной, лесостепной) и трех СФЗ (Ангаро-Ленской, Присяянской, Прибайкальской) значительно выше ( $K_M^2 = 1,12-1,44$ ), а в Байкальской и Хамар-Дабанской СФЗ – значительно ниже ( $K_M^2 = 0,77-0,79$ ), чем в делювиальных почвах гор. А. Эти данные свидетельствуют о достаточно высокой степени миграции меди в условиях Байкало-Джугджурской, Южно-Сибирских горно-таежных, Средне-Сибирской, Южно-Сибирской плоскогорной, лесостепной ландшафтных областей и Ангаро-Ленской, Присяянской, Прибайкальской СФЗ. Природа повышенных концентраций меди, вероятно, обусловлена материнскими породами.

### **Ванадий**

Средние концентрации ванадия в почвах всех ландшафтных областей и СФЗ примерно равны кларку, лишь в некоторых районах КК достигает значения 1,15. В горных районах Присяянской, Прибайкальской, Байкальской СФЗ и Южно-Сибирской пихтово-таежной, Средне-Сибирской ландшафтных областях содержание ванадия в почвообразующих породах выше, чем в поверхностном горизонте делювиальных почв ( $K_M^1 = 0,92-0,72$ ), в остальных – концентрации примерно одинаковые ( $K_M^1 = 1,01-1,05$ , реже – 1,14), что свидетельствует о естественной природе повышенных содержаний этого элемента в почвах и различных миграционных свойствах в зависимости от степени его окисления и кислотности среды. Относительно высокие коэффициенты миграции ванадия ( $K_M^2 = 1,17-1,57$ ) из делювиальных почв гор. А в аллювиальные фиксируются в Юрском угленосном бассейне, Присяянской, Прибайкаль-

ской СФЗ и Средне-Сибирской ландшафтной области, и наоборот, низкие ( $K_m^2 = 0,68-0,92$ ) – в Ангаро-Ленской, Удино-Витимской, Байкальской и Хамар-Дабанской СФЗ и почти во всех ландшафтных областях, за исключением Средне-Сибирской, а также Байкальской и Хамар-Дабанской СФЗ. Коэффициент миграции в системе «делювиальные почвы гор. А – аллювиальные почвы гор. А» близок к единице (1,0–1,03).

Анализ распределения ассоциаций токсичных химических элементов свидетельствует о том, что в почвах Прибайкалья такие элементы, как ртуть, уран, бериллий, фтор, превышают кларк в несколько раз. Районы с неблагоприятной экологической обстановкой по этим токсичным элементам расположены преимущественно вокруг городов Ангарска, Зимы, Саянска, Иркутска, Усолья-Сибирского, Черемхово, Шелехова, где сосредоточены промышленные производства. Основными поставщиками ртути в почвах являются предприятия химической промышленности ООО «Усольехимпром» и ООО «Саянскхимпласт» [Распределение радиоактивных элементов ..., 2009; Коваль, Гребенщикова, Листенберг, 1999; Коваль, Гребенщикова, Китаев, 2000], а также естественное повышенное содержание их в коренных породах. Шелеховский алюминиевый завод поставляет в окружающую среду бериллий, фтор и другие элементы. В связи с этим, на большой территории в пределах городов Слюдянки, Усолья-Сибирского и пос. Усть-Орда сформировался единый ореол с ртутной ассоциацией, а в районе городов Иркутска, Шелехова, Черемхово – ореол техногенного загрязнения с фтор-уран-бериллиевой ассоциацией. В почвах различных структурно-формационных зон выявлены разные наборы наиболее высоких средних содержаний токсичных химических элементов в почвах и различные уровни коэффициентов концентрации относительно фоновых содержаний, относительно кларков и относительно ПДК. Установлено четыре уровня разбросов (дисперсий) значений коэффициентов концентраций химических элементов в почвах различных СФЗ. Выявлены особенности распределения химических элементов и геохимические различия в почвах различных СФЗ, обусловленные природными условиями или техногенной нагрузкой. Каждая из этих зон характеризуется максимальными и минимальными уровнями значений коэффициентов концентраций относительно других СФЗ. Выявлены особенности миграции химических элементов в системах: а) в радиальном направлении: делювиальные почвы гор. В – делювиальные почвы гор. А и б) в латеральном направлении: делювиальные почвы гор. А – аллювиальные почвы гор. А.

Полученные данные могут быть использованы при анализе эколого-геохимической ситуации с целью дальнейших, более детальных исследований, планирования размещения зон туристических баз отдыха и сельскохозяйственных работ.

## Глава 4

# ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЧВ ЮЖНОГО ПРИБАЙКАЛЬЯ

Химический состав отдельных типов почв Прибайкалья приводится в литературе многими исследователями [Воробьева, 1972; Кузьмин, 1988 и др.]. Ниже представлены данные по химическому составу верхнего горизонта почв на основе площадного опробования при мелкомасштабной (1:1 000 000) эколого-геохимической съемке, осуществлявшейся по проекту «Геоэкология и геохимическое картирование России» [Коваль, Кузьмин, 1994]. Эти данные, основанные на систематическом опробовании почв, даются впервые и представляют, на наш взгляд, определенный интерес и дополнительные сведения.

### 4.1. Состав и соотношение окислов в почвах

Компоненты состава почв имеют одно- ( $\text{SiO}_2$  и др.), двух- (Sr и др.), трех- (Sr склоновых отложений) или четырех- (C, S) модальное распределение (табл. 4.1), которое свидетельствует, очевидно, об их интегральном генезисе. Параметры распределения компонентов в почвах показаны в табл. 4.2. Максимальные и средние содержания в значительной степени отличаются лишь для окиси кальция и органического углерода. Для остальных компонентов различие между максимальными и средними содержаниями невелики (дисперсия от 0,003 до 1,114). Средние содержания компонентов в почвах делювиальных и аллювиальных отложений близки. В почвах делювиальных отложений незначительно превышают содержания C,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , MnO, CaO,  $\text{K}_2\text{O}$ , Ba, а в почвах аллювиальных отложений –  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , MgO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , S, Sr. Средний состав почв Прибайкалья следующий (в %):  $\text{SiO}_2$  (53,2),  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (11,0),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (4,4), C (3,3), CaO (2,7),  $\text{K}_2\text{O}$ , MgO (1,9),  $\text{Na}_2\text{O}$  (1,8),  $\text{TiO}_2$  (0,7),  $\text{P}_2\text{O}_5$  (0,3), MnO, S (0,1), Ba (0,06), Sr (0,04), Zr (0,03), Nb (0,004). Корреляция содержаний компонентов в почвах слабая: коэффициент корреляции для пар  $\text{SiO}_2$  с  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , MgO, CaO,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{P}_2\text{O}_5$ , Ba и для  $\text{TiO}_2$  с  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  не превышает 0,5–0,75.

Больших различий в концентрациях силикатов в почвах, подсчитанных по каждой структурно-формационной зоне, не обнаружено (табл. 4.3, 4.4). Можно лишь отметить, что в пределах Юрского угленосного бассейна в аллювиальных почвах фиксируются минимальные содержа-

ния MgO и максимальные Sr; в Прибайкальской СФЗ – минимальные содержания Na<sub>2</sub>O, Sr и максимальные – K<sub>2</sub>O; в Байкальской – минимальные содержания Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MnO, S; в Хамар-Дабанской – минимальные содержания SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и максимальные MgO, CaO; в Удино-Витимской – минимальные содержания MgO, S и максимальные K<sub>2</sub>O; в Джиде-Витимской СФЗ – минимальные содержания MgO и максимальные P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; в Ангаро-Ленской СФЗ – минимальные содержания Na<sub>2</sub>O.

Таблица 4.1  
Распределение содержаний компонентов в почвах  
Прибайкалья (217 проб)

Компо- ненты	N/N* мод	С, %	Н. Ч.	n	N/N мод	С, %	Н. Ч.	n
		Почвы аллюви- альных отложений				Почвы делюви- альных отложений		
SiO <sub>2</sub>	1	68	91	27	1	65	83	33
TiO <sub>2</sub>	1	0,76	75	22	1	0,8	63	27
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1	12,5	69	28	1	12,8	80	33
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1	5,5	67	15	1	5,5	69	18
MnO	1	0,1	71	25	1	0,1	51	27
MgO	1	2,1	54	16	1	2,3	64	11
CaO	1	3,1	48	12	1	2,6	57	15
Na <sub>2</sub> O	1	1,74	46	14	1	1,6	44	14
	2	2,87	84	14	2	2,4	77	17
K <sub>2</sub> O	1	1,8	48	17	1	1,9	53	24
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1	0,3	59	20	1	0,2	36	17
C	1	0,1	4,5	5	1 2 3	0,8 4,0 9,8	8,3 51 94	3 10 6
	2	2,0	31	6				
	3	3,8	52	10				
	4	7,7	89	7				
S	1	0,01	14	15	1	0,01	13	16
	2	0,1	42	5	2	0,04	31	4
	3	0,15	58	9	3	0,1	56	9
	4	0,36	95	6	4	0,16	79	1
Ba	1	0,07	85	23	1	0,07	64	29
Sr	1	0,016	10,5	6	1	0,014	12	7
	2	0,06	75	11	2	0,028	38	12
					3	0,047	65	11
Zr	1	0,016	34	12	1	0,02	45	10
	2	0,036	77	9	2	0,04	89	11
Nb	1	0,003	63	72	1	0,003	59	71

\* N/N мод – количество мод на кривой распределения. Для каждой моды: С – содержание компонентов; Н. Ч. – накопленная частость; n – количество проб.



Таблица 4.2

Параметры распределения содержаний компонентов  
химического состава почв Прибайкалья

Химические элементы	С, % max*	С, % среднее	Дисперсия	Коэфф. вариации
SiO <sub>2</sub>	74,410	53,236	1,098	0,020
	78,720	53,203	1,0168	0,020
TiO <sub>2</sub>	1,180	0,655	0,032	0,275
	1,430	0,691	0,038	0,283
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15,320	10,832	1,114	0,097
	16,700	11,054	1,072	0,094
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8,890	4,658	1,110	0,226
	8,510	4,371	1,178	0,248
MnO	0,370	0,106	0,003	0,536
	0,960	0,143	0,012	0,770
MgO	7,930	2,291	1,089	0,455
	10,260	1,877	1,431	0,637
CaO	18,390	3,468	1,518	0,355
	22,780	2,683	1,657	0,480
Na <sub>2</sub> O	3,450	1,997	0,583	0,382
	3,930	1,843	0,584	0,415
K <sub>2</sub> O	3,610	1,895	0,329	0,313
	3,340	1,948	0,328	0,294
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,490	0,321	0,036	0,591
	1,250	0,299	0,025	0,531
C	22,000	2,819	3,631	0,676
	25,900	3,334	2,720	0,495
Ba	0,102	0,058	0,000	0,248
	0,116	0,063	0,000	0,273
Sr	0,512	0,053	0,004	1,143
	0,181	0,041	0,001	0,641
Zr	0,096	0,027	0,000	0,623
	0,096	0,026	0,000	0,524
Nb	0,010	0,004	0,000	0,408
	0,012	0,004	0,000	0,574

\* Верхняя строка – параметры аллювиальных отложений, нижняя – делювиальных отложений.

Таблица 4.3

Содержания компонентов в аллювиальных почвах различных структурно-формационных зон Прибайкалья (%)

Структурно-формационная зона	Содержание	n <sup>1</sup>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	C	S	Ba+Cl	Sr	Zr	Nb
Ангаро-Ленская Ленская подзона	max <sup>2</sup>	45	71,45	0,89	15,3	8,07	0,33	4,37	10,88	3,19	2,2	1,25	15	0,562	0,065	0,181	0,064	0,008
	min		16,2	0,31	6,83	1,67	0,03	1,3	0,8	0,78	0,67	0,16	1,23	0,035	0,031	0,012	0,005	0,003
	c		50,61	0,644	10,762	4,3	0,099	2,471	3,903	1,598	1,586	0,347	4,601	0,216	0,049	0,045	0,025	0,004
Юрский угленосный бассейн	max	25	74,41	0,81	15,32	7,67	0,37	3,56	18,39	3,24	2,94	1,49	14,3	0,5	0,082	0,512	0,096	0,01
	min		38,95	0,32	6,28	2,46	0,02	0,53	0,98	0,48	1,15	0,1	0,7	0,01	0,048	0,031	0,016	0,003
	c		55,5	0,583	10,534	4,5	0,109	1,854	3,277	2,106	1,908	0,358	4,363	0,172	0,063	0,107	0,039	0,005
Ангаро-Ленская в целом	max	70	74,41	0,89	15,32	8,07	0,37	4,37	18,39	3,24	2,94	1,49	7,6	0,562	0,082	0,512	0,096	0,01
	min		16,2	0,31	6,28	1,67	0,02	0,53	0,08	0,48	0,67	0,1	0,4	0,01	0,031	0,012	0,005	0,003
	c		52,04	0,626	10,694	4,359	0,102	2,285	3,702	1,751	1,683	0,351	2,69	0,203	0,053	0,063	0,029	0,004
Присаянская	max	19	65,94	1,02	14,73	7,75	0,23	4,42	6,19	3,43	2,51	0,46	9,51	0,204	0,095	0,095	0,065	0,007
	min		48,98	0,58	9,58	4,39	0,08	0,75	1,18	1,36	1,37	0,06	0,33	0,01	0,04	0,02	0,012	0,003
	c		57,55	0,738	12,114	5,664	0,117	2,425	2,845	2,451	1,918	0,284	3,481	0,094	0,061	0,045	0,028	0,004
Прибайкальская	max		65,46	0,93	15,28	8,89	0,33	5,34	9,84	2,39	3,61	0,34	22	0,188	0,102	0,038	0,074	0,008
	min		32,92	0,48	9,21	3,64	0,06	1,56	63	0,49	1,71	0,11	0,095	0,037	0,029	0,012	0,01	0,003
	c		56,03	0,696	12,24	5,7	0,144	2,312	2,026	1,411	2,434	0,202	0,758	0,115	0,06	0,02	0,032	0,004
Байкальская	max	8	71,85	1,18	14,6	6,57	0,11	2,76	12,22	3,36	3,18	0,77	6,1	0,216	0,095	0,095	0,035	0,007
	min		21,5	0,18	1,69	3,33	0,04	0,72	2,12	0,54	0,59	0,13	0,095	0,01	0,033	0,018	0,009	0,003
	c		54,94	0,549	8,692	4,289	0,079	1,549	4,343	2,354	2,063	0,389	3,569	0,061	0,063	0,06	0,019	0,004
Хамар-Дабанская	max	10	65,34	1,04	13,15	6,34	0,16	7,93	17,17	3,16	2,36	0,61	15,24	0,453	0,082	0,088	0,059	0,009
	min		6,88	0,14	1,38	3,02	0,01	2,07	3,03	0,43	0,33	0,24	0,095	0,01	0,026	0,034	0,008	0,003
	c		41,37	0,658	8,232	4,843	0,107	3,165	6,73	2,117	1,533	0,347	0,822	0,142	0,058	0,05	0,02	0,004
Удино-Витимская	max	9	73,61	1,05	15,31	6,63	0,13	2,47	4,44	3,45	3,05	0,46	4,7	0,34	0,088	0,08	0,054	0,003
	min		36,94	0,32	9,24	2,12	0,04	0,6	2,04	1,8	1,14	0,15	0,79	0,01	0,038	0,027	0,004	0,003
	c		60,96	0,688	12,601	4,094	0,083	1,575	3,077	2,715	2,459	0,265	2,181	0,077	0,072	0,056	0,023	0,003
Джида-Витимская	max	5	72,57	0,88	12,52	5,93	0,12	2,02	6,13	2,85	2,72	0,81	15	0,351	0,068	0,054	0,031	0,003
	min		35,09	0,5	7,27	2,94	0,07	0,99	2,16	1,32	1,14	0,15	1,23	0,01	0,048	0,034	0,015	0,003
	c		54,33	0,66	10,639	4,332	0,093	1,577	3,23	2,193	2,047	0,412	4,528	0,148	0,061	0,043	0,022	0,003

<sup>1</sup> n – число проб. <sup>2</sup> max – максимальные, min – минимальные, c – средние содержания элементов.

Таблица 4.4

Содержания компонентов в почвах делювиальных отложений различных структурно-формационных зон Прибайкалья (%)

Структурно-формационная зона	Содержание	n <sup>1</sup>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	C	S	Ba+C I	Sr	Zr	Nb
Ангаро-Ленская Ленская подзона	max <sup>2</sup>	41	68,83	1,05	16,7	7,65	0,44	6,87	21,78	2,38	3,11	0,63	15,4	0,328	0,113	0,181	0,064	0,008
	min		17,81	0,23	3,88	1,31	0,02	0,93	1,27	0,2	0,38	0,15	1,15	0,01	0,004	0,011	0,008	0,003
	c		51,54	0,691	11,019	4,573	0,143	2,357	3,269	1,394	1,738	0,305	4,094	0,122	0,057	0,181	0,024	0,004
Юрский угленосный бассейн	max	22	74,41	0,87	14,83	6,65	0,39	10,26	22,78	3,31	3,3	0,56	6,4	0,378	0,092	0,093	0,43	0,007
	min		15,46	0,09	2,12	1	0,01	0,41	0,9	0,3	0,43	0,14	0,33	0,01	0,02	0,016	0,007	0,003
	c		59,39	0,61	10,643	3,704	0,11	1,304	2,033	2,034	2,3	0,226	3,251	0,115	0,068	0,052	0,031	0,005
Ангаро-Ленская в целом	max	63	74,41	1,05	16,7	7,65	0,44	10,26	22,78	3,31	3,3	0,63	15,46	0,378	0,113	0,181	0,064	0,008
	min		15,16	0,09	2,12	1	0,01	0,41	0,9	0,2	0,38	0,14	0,33	0,01	0,004	0,011	0,007	0,003
	c		54,16	0,663	10,886	4,249	0,132	1,917	2,769	1,618	1,934	0,278	3,777	0,12	0,061	0,043	0,027	0,004
Присянская	max	17	71,86	1,43	14,95	8,51	0,96	9,46	5,92	3,93	2,9	1,0	12,8	0,298	0,091	0,083	0,074	0,009
	min		15,55	0,32	5,13	2,64	0,05	0,38	0,89	0,93	0,71	0,16	0,82	0,01	0,04	0,007	0,003	0,003
	c		52,26	0,727	10,683	4,625	0,166	1,738	2,246	2,204	1,78	0,386	4,207	0,115	0,063	0,041	0,026	0,004
Прибайкальская	max	12	63,41	1,06	14,56	8,1	0,4	9,36	12,54	2,44	3,34	0,34	25,9	0,171	0,116	0,04	0,096	0,012
	min		2,19	0,28	5,54	1,38	0,07	1,25	0,63	0,26	0,9	0,14	0,33	0,01	0,02	0,008	0,008	0,003
	c		40,34	0,624	10,863	4,864	0,199	2,13	2,035	1,281	2,063	0,242	4,752	0,1	0,056	0,021	0,03	0,005
Байкальская	max	6	69,07	0,81	11,99	5,93	0,17	2,53	6,45	2,96	2,91	1,25	9,51	0,259	0,082	0,079	0,04	0,007
	min		47,64	0,48	9,96	2,43	0,05	0,39	1,32	1,46	1,74	0,15	1,1	0,047	0,049	0,031	0,012	0,003
	c		55,46	0,628	11,203	4,397	0,117	1,5	3,065	2,08	2,085	0,42	5,28	0,15	0,065	0,049	0,026	0,004
Хамар-Дабанская	max	10	70,78	1,2	14,64	5,94	0,3	3,48	13,18	2,99	2,26	0,47	5,7	0,172	0,085	0,068	0,033	0,005
	min		31,32	0,39	7,41	3,22	0,08	1,48	2,24	1,85	1,13	0,17	0,11	0,01	0,054	0,026	0,009	0,003
	c		55,65	0,761	11,331	4,839	0,126	2,432	3,919	2,426	1,698	0,284	1,657	0,057	0,066	0,045	0,018	0,003
Удино-Витимская	max	8	72,64	1,1	15,63	7,78	0,34	3,01	4	3,55	2,65	0,47	10,23	0,249	0,104	0,15	0,04	0,003
	min		47,34	0,7	10,22	0,68	0,07	1,07	1,74	1,37	1,65	0,2	0,08	0,01	0,043	0,021	0,012	0,003
	c		58,94	0,834	13,435	4,21	0,161	2,007	2,654	2,584	2,213	0,336	1,359	0,053	0,079	0,056	0,026	0,003
Джида-Витимская	max	4	68,99	1,32	13,92	5,59	0,19	4,01	8,82	2,59	3,24	0,28	3,15	0,098	0,083	0,053	0,034	0,003
	min		57,29	0,47	10,35	2,59	0,08	0,94	2,04	2,36	2,02	0,21	0	0,01	0,069	0,033	0,01	0,003
	c		61,98	0,752	11,975	4,072	0,132	1,935	4,192	2,457	2,552	0,25	2,205	0,044	0,074	0,043	0,02	0,003

<sup>1</sup> n – число проб. <sup>2</sup> max – максимальные, min – минимальные, c – средние содержания элементов.

Таблица 4.5

Характеристики распределения  
органического углерода в почвах Прибайкалья

Характеристики		почвы, гор. А	
		аллювиальные	делювиальные
Число проанализированных образцов		115	102
Максимальное содержание, %		22,0	25,9
Среднее содержание, %		2,82	3,33
Минимальное содержание, %		0,19–0	0,08–0
Мода 1	содержание, %	0,1	0,8
	накопленная частотность, %	4,5	8,3
	число образцов с данным содержанием	5	3
Мода 2	содержание, %	2,0	4,0
	накопленная частотность, %	31	8,3
	число образцов с данным содержанием	6	3
Мода 3	содержание, %	3,8	9,8
	накопленная частотность, %	52	94
	число образцов с данным содержанием	10	6
Мода 4	содержание, %	7,7	-
	накопленная частотность, %	89	-
	число образцов с данным содержанием	7	-
Региональный фон		3,0	3,0
Дисперсия		3,631	2,720
Коэффициент вариации		0,676	0,495

Таблица 4.6

Содержание органического углерода в почвах различных  
структурно-формационных зон Прибайкалья

Структурно-формационные зоны	Содержание	Содержание в почвах, %		Число проб почв	
		аллювиальных (1)	делювиальных (2)	1	2
Ангаро-Ленская	max*	15,000	15,400		
	min	1,230	0,330	53	63
	c	4,528	3,777		
а) Ленская подзона	max	15,000	15,400		
	min	1,230	1,150	37	41
	c	4,601	4,094		
б) Иркутский угленосный бассейн	max	14,300	6,400		
	min	1,700	0,330	16	22
	c	4,363	3,251		

Окончание табл. 4.6

Структурно-формационные зоны	Содержание	Содержание в почвах, %		Число проб почв	
		аллювиальных (1)	делювиальных (2)	1	2
Присаянская	max	7,600	12,800	17	17
	min	0,400	0,820		
	с	2,690	4,207		
Прибайкальская	max	9,500	25,900	12	12
	min	0,330	0,330		
	с	3,481	4,752		
Байкальская	max	22,000	9,510	7	6
	min	0,095	1,100		
	с	0,758	5,280		
Хамар-Дабанская	max	6,100	5,700	10	10
	min	0,095	0,110		
	с	3,569	1,657		
Удино-Витимская	max	15,240	10,230	11	8
	min	0,095	0,080		
	с	0,822	1,359		
Джида-Витимская	max	4,700	3,150	4	4
	min	0,790	0		
	с	2,181	2,205		

\* max – максимальные, min – минимальные, с – средние содержания элементов.

Таблица 4.7

## Содержание гумуса в почвах России (горизонт А)

Тип почвы	Место взятия	Содержание, %	Литература
Черноземы	Воронежская область	11,5–16,74	[8]
	Северный Кавказ	8,02–10,00	[8]
	Европейская часть России	7,05–10,00	[10]
Каштановые почвы	Северный Кавказ	4,76–6,69	[8]
	Европейская часть России	3,00–3,50	[10]
Красноземы	Батуми	13,30	[8]
	Европейская часть России	5,00	[10]
Подзолистые почвы	Хибины	5,11	[8]
	Район г. Санкт-Петербурга	6,01	[8]
	Там же	3,53–10,10	[8]
	Европейская часть России	3,50–5,00	[10]
	Приангарье	0,40–6,70	[2]
	Прибайкалье Присаянье	0,6–4,30 0,8–12,40	[2] [2]
Выщелоченные серые лесные и бурые лесные	Тульская область	4,12–10,03	[8]
Бурые грубогумусные и подбуры	Северное Забайкалье	9,30–11,40	[2]
	Байкальский хребет	2,80–12,00	[2]

Таблица 4.8

Распределение содержаний  $C_{орг}$  (%) по вертикальным разрезам почв сельхозугодий Зиминского района

Интервал опробования (см)	Номера проб										
	1017	5018	5019	5020	5021	5022	5023	5024	5025	5026	5027
0–20	1,18	1,21	2,11	3,36	1,33	1,21	2,34	4,68	4,26	9,75	4,97
21–40	1,04	0,32	0,50	3,00	0,31	0,21	0,45	2,28	3,87	6,09	1,57
41–60	0,14	0,26	0,46	0,82	0,49	0,10	0,37	1,09	2,19	3,21	0,94
61–80	0,06	0,32	0,52	3,12	0,41	0,04	0,43	0,39	1,15	1,97	0,15
	541	542	543	544	545	546	547	548	549	550	551
0–20	0,50	0,44	2,87	0,64	0,46	0,88	1,08	2,27	0,18	9,80	4,82
21–40	0,37	0,30	0,24	0,09	0,21	0,14	0,16	2,08	0,61	0,44	2,13
41–60	0,08	0,44	0,30	0,44	н/о	0,16	0,21	2,21	0,31	0,12	10,9
61–80	0,06	0,10	0,19	0,13	н/о	0,39	0,30	1,47	0,46	0,17	0
											0,24

Таблица 4.9

Среднее содержание  $C_{орг}$  по профилям

Профиль	Горизонт А	Разрез
5022–5025	2,1	1,1
551–548	3,7	1,5
545–541	0,8	0,4
5026–5027	7,6	3,8
среднее	3,8	1,4

Каждая СФЗ отличается повышенным или пониженным содержанием некоторых компонентов силикатов в аллювиальных почвах по сравнению с делювиальными, что свидетельствует о различных ландшафтных условиях и миграционной способности компонентов. Например, в горных областях Присяянской, Прибайкальской и некоторых других СФЗ содержания  $SiO_2$ ,  $TiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ,  $MgO$  и  $K_2O$  в аллювиальных почвах выше, чем в делювиальных, то есть коэффициент миграции этих компонентов более единицы, а в Ангаро-Ленской и некоторых других СФЗ коэффициент миграции – менее единицы.

По типам почв имеются некоторые различия в содержаниях компонентов. Максимальные содержания окиси кальция фиксируются в следующих почвах: черноземы выщелоченные, болотно-мерзлотные, луговые аллювиальные. Средние содержания  $CaO$  в почвах аллювиальных (3,468 %) и делювиальных отложений (2,683 %) несколько выше фоновых (2,5 %) и тем более кларковых (1,92), по А. П. Виноградову (1957). Средние содержания  $SiO_2$  в почвах Прибайкалья совпадает с фоновым и равно 53,2 % (кларк в почвах равен 70,59 %). В некоторых типах почв

(черноземы карбонатные в степях и лесостепях и дерново-карбонатные почвы в тайге и тундре) содержания  $\text{SiO}_2$  достигают 74,4–78,7 %. Колебания содержаний остальных компонентов в почвах различных типов незначительные. В пределах пахотных земель сельхозугодий Зиминского района на основе 93 анализов установлены следующие содержания (в процентах) породообразующих элементов в почвах (в скобках показаны наиболее часто встречающиеся содержания):  $\text{SiO}_2$  – 47,70–82,53 (60–70);  $\text{TiO}_2$  – 0,29–1,12 (0,5–0,9);  $\text{Al}_2\text{O}_3$  – 6,64–17,13 (9–13);  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  – 1,54–8,23 (3–5);  $\text{MnO}$  – 0,03–0,18 (0,05–0,1);  $\text{MgO}$  – 0,28–2,86 (1,3–2,0);  $\text{CaO}$  – 0,95–17,71 (2–5);  $\text{Na}_2\text{O}$  – 1,02–3,23 (1–2,5);  $\text{K}_2\text{O}$  – 1,18–3,02 (1–2,5);  $\text{P}_2\text{O}_5$  – 0,08–0,61 (0,2–0,3);  $\text{S}$  – 0,010–0,452 (0,010–0,028);  $\text{Ba}+\text{Cl}$  – 0,01–0,084 (0,03–0,07);  $\text{Sr}$  – 0,025–0,022 (0,025–0,040);  $\text{Zr}$  – 0,019–0,035 (0,02–0,03);  $\text{Nb}$  – (0,003). Колебание содержаний серы по вертикальным разрезам почв незначительное и не подчиняется какой-либо закономерности. В целом концентрации серы в почвах Зиминского района, как правило, не превышают средние содержания (кларк 0,0085), но в отдельных случаях – выше кларка почти в 5 раз. Приведенные данные показывают, что и в пахотном горизонте почв содержания компонентов находятся в тех же пределах, что и в различных типах почв.

## 4.2. Органический углерод в почвах

Накопление органических веществ в почвах зависит, как известно, от климата и типа растительности. Выработка органического материала растительностью колеблется от 0,1 (в альпийских лугах) до 45 т/га (в тропических лесах) [Брукс, 1986]. На рассматриваемой территории почвы сформировались в условиях холодного климата Восточной Сибири при умеренной влажности в лесостепных и горно-таежных ландшафтах, где преобладающей растительностью является сосна и лиственница. Содержания органического углерода в почвах колеблются в значительных пределах (от менее 0,08 до 25,9 %), в связи с чем отмечается достаточно высокая дисперсия его содержаний (табл. 4.5). Кривая распределения содержаний имеет трехмодальный вид в почвах делювиальных отложений и четырехмодальный – в почвах аллювиальных отложений, что свидетельствует о различных типах генезиса. Значения средних содержаний  $\text{C}_{\text{орг}}$  в почвах и региональный фон (3 %) практически совпадают, превышая кларк (2 %) [Виноградов, 1957] и тем более кларк для осадочных пород (1,2 %), в изверженных породах (0,01–0,03 %). Таким образом, общее накопление  $\text{C}_{\text{орг}}$  в почвах, сформированных в холодном климате Восточной Сибири, не слишком высокое, но выше кларкового содержания для Европейско-Азиатского континента. Следует также отметить, что параметры распределения  $\text{C}_{\text{орг}}$  в почвах аллювиальных и делювиаль-

ных отложений в среднем близки между собой. Следовательно, накопление  $C_{орг}$  в почвах долин рек зависит от распределения его в почвах склонов и вершин горно-таежных ландшафтов, полностью соответствуя последним. Корреляция содержаний  $C_{орг}$  со всеми компонентами силикатов отсутствует, только с  $K_2O$  имеется тенденция к слабой зависимости (коэффициент корреляции достигает значения 0,5).

Распределение средних содержаний  $C_{орг}$  в почвах различных структурно-формационных зон характеризуется следующими особенностями (табл. 4.6). Наиболее высокие средние содержания  $C_{орг}$  в почвах аллювиальных отложений свойственны для Ангаро-Ленской СФЗ (4,528 %), где сосредоточено преимущественное большинство сельскохозяйственных районов области, минимальные средние содержания характерны для Удино-Витимской (0,822 %) и Байкальской СФЗ (0,758 %). Однако для почв делювиальных отложений наиболее высокие средние содержания  $C_{орг}$  фиксируются в Байкальской, Прибайкальской, Присяянской и Ангаро-Ленской СФЗ (соответственно 5,280; 4,752; 4,207; 3,777 %), а минимальные – в Удино-Витимской и Хамар-Дабанской СФЗ.

Имеются также и некоторые различия в содержаниях  $C_{орг}$  в различных типах почв. Наиболее высокие средние содержания органического углерода фиксируются в почвах степей и лесостепей, а также в аллювиальных дерново-луговых. Сравнительно низкие содержания – в почвах тайги, тундры и межгорных понижений. Во всех типах делювиальных почв средние содержания близки к фоновым, как правило, лишь незначительно их превышая (2,880–3,535 %); в почвах горных территорий превышение  $C_{орг}$  относительно фона сравнительно высокое (5,597 %). В почвах аллювиальных отложений средние содержания в различных типах почв имеют значительный разброс (2,260–7,500 %). Содержания  $C_{орг}$  изменяются также в зависимости от состава почв. Максимальные содержания свойственны для почв черноземов карбонатных, дерновых луговых, засоленных болотных и аллювиальных; минимальные – для черноземов обыкновенных, дерновых сильно- и среднеподзолистых, надмерзлотно-глеевых. Фоновое содержание органического углерода в почвах Прибайкалья составляет 3 %, что значительно превышает кларк в почвах [Виноградов, 1957]. В целом содержания  $C_{орг}$  в различных типах почв Иркутской области находятся в пределах, близких по содержаниям такового в целом по России (табл. 4.7). Содержания органического углерода в почвах сельхозугодий Зиминского района колеблются в широких пределах (0,5–4 %, иногда более 9 %)\*. По вертикальным разрезам распределение содержаний  $C_{орг}$ , как правило, однообраз-

---

\* По данным Иркутского агрохимического центра, структурные и аналитические данные почв сельскохозяйственных угодий области относят их в разряд потенциально плодородных почв. Пахотные угодья в основном относятся к грациям со средним и низким содержанием гумуса, средневзвешенная величина которого по области составляет 4,7 %.



ное (табл. 4.8). На верхнем горизонте (гор. А) содержания самые высокие, затем резко падают и уменьшаются с глубиной. Однако в ряде разрезов на общем фоне уменьшения содержаний на нижних и средних горизонтах они несколько возрастают (до 5018–5021), в некоторых разрезах относительно высокие содержания  $C_{\text{орг}}$  сохраняются по всему разрезу (549, 551 и др.). Средние содержания  $C_{\text{орг}}$  для сельхозугодий Зиминского района в пахотном гор. А составляет 3,48 %, а по почвенному разрезу – почти в 2 раза меньше (1,84) (табл. 4.9).

С целью получения тенденций в изменении климатических и геохимических параметров в Байкальском регионе в четвертичное время авторами были проведены работы по определению изотопного состава органического углерода различных почв и рыхлых отложений Прибайкалья [Изотопный состав углерода почв ..., 1993]. Установлено, что изменения изотопного состава углерода в современных речных осадках и почвах имеют достаточно узкий интервал (от  $-27,6$  до  $-24,2$ ), колеблясь на уровне, близком к  $-25,5$ , что свидетельствует об относительной устойчивости уровня изотопного фракционирования углерода при почвообразовании в рассмотренных современных ландшафтах.

### **4.3. Пространственное распределение окислов силикатов и углерода**

Слабо повышенные концентрации окиси кремния (до 1,6 фонов) в почвах аллювиальных и делювиальных отложений образуют широкие полосы вдоль р. Ангары, преимущественно в пределах Ангаро-Ленской СФЗ, Южно-Сибирской горно-таежной (сосновой с примесью лиственных) ландшафтной зоны, а окиси титана, алюминия, железа – вдоль северо-западного побережья озера Байкал, в пределах, в основном, Прибайкальской СФЗ, Южно-Сибирской горно-таежной (пихтово-кедровой) ландшафтной зоны и в районе Братского водохранилища. Максимальные содержания окиси марганца образуют два крупных пятна около побережья оз. Байкал, в районе р. Ангары и севернее о. Ольхон, а в почвах аллювиальных отложений еще и в северо-западной и юго-западной частях площади полигона. Максимальные концентрации окиси магния и кальция тяготеют к северо-восточной и юго-западной частям площади, а окиси натрия – к юго-западной части планшета. Повышенные концентрации окиси калия фиксируются вдоль р. Ангары и побережья оз. Байкал в пределах Ангаро-Ленской и Прибайкальской СФЗ, а окиси фосфора и серы – в виде отдельных пятен в различных частях площади. Слабоаномальные содержания бария, стронция, циркония и ниобия занимают западную часть площади вдоль р. Ангары и западнее ее, в пределах пре-

имущественно Юрского угленосного бассейна и Присянской СФЗ, Южно-Сибирской горно-таежной и Средне-Сибирской равнинно-плоскогорной ландшафтных зон. Пространственное распределение концентраций  $C_{\text{орг}}$  в почвах Прибайкалья характеризуется следующими особенностями. Наиболее высокие содержания органического углерода в почвах делювиальных отложений (4,50–28,49), превышающие фон в 3–10 раз, в целом фиксируются преимущественно в обрамлении оз. Байкал в виде полосы шириной 6–8 км. В почвах аллювиальных отложений максимальные содержания тяготеют к сельскохозяйственным районам, в пределах поселков Баяндай, Усть-Ордынский и городов Саянска, Черемхово, Усолья-Сибирского.

## Заключение

Полученные данные по содержанию и распределению изученных рудных и редких элементов позволяют высказать соображения о геолого-геохимической специфике территории Байкальского полигона.

По сравнению со средним составом земной коры континентов [Тейлор, Мак-Леннан, 1998] состав поверхностного слоя коры Байкальского полигона имеет повышенные содержания Cr, Ni, Ga, В. Для этих и некоторых других элементов установлены наиболее высокие кларки концентрации. На Байкальском полигоне преобладают породы с литосидерофильной и сидеро-лито-халькофильной специализацией. Литофильная группа элементов является определяющей в специализации пород на полигоне. Геохимическая специализация формаций чехла Сибирской платформы свидетельствует в пользу местного источника терригенного материала (Присянская и Прибайкальская СФЗ).

Геотектонические (структурно-формационные) зоны существенно различаются по геохимической специализации:

- Ангаро-Ленская СФЗ обогащена Li, La, Rb, Sr, Cu, Pb, Ni, Co, Ti, Cr, Hg и Au и, наоборот, обеднена Sn. Известно оруденение Cu, Pb, россыпи золота;

- Присянская СФЗ обогащена Sc, Yb, Sn, W, Zr, Hf, PЗЭ, Th, U, Ni, Co, V, Mn, Ge, Cu, Pb, Au. Имеется оруденение Fe, Co, Ta, Nb, Sn;

- Прибайкальская СФЗ – Sc, Yb, Li, Ga, La, Rb, Sn, Au, Be, Pb, Zn, Cu, U, Zr, Ni, Co, Cr, Ti, редкими землями. Имеются рудопроявления Pb, Zn, U;

- Байкальская СФЗ обогащена Nb, Zr, Hf, Ge, Cr, Ni, Co, редкими землям. Понижены содержания Yb, Li, Rb;

- Байкало-Витимская и Олокито-Мамская зоны обогащены Cu, Ti, Cr, Ni, Co и отчасти Pb. Известное оруденение представлено Cu, Ni, Co, Pb и Ti;

- В Баргузинской СФЗ повышены содержания U, Zr, Hf, Cu, Pb, Zn, Mn, V, в меньшей мере P, Ni, Au. Установлена медная и золотая минерализация;

- Хамар-Дабанская зона отличается повышенными концентрациями Sc, Zr, Nb, Be, Pb, Zn, Ag, Cu, Mn, Cr, Ni, Co и в меньшей мере Ti, Th, Bi, Au понижены содержания Li, Rb. Установлено оруденение Ti, Nb и россыпи Au.

- Удино-Витимская СФЗ характеризуется ассоциацией W, Sn, U, Be, Pb, Zn, Ti, Cr, V, редкими землями, в меньшей мере – P, Mn, Sc. Оруденение представлено P, U, Au, Mn за пределами полигона.

Анализ состава коренных пород полигона показал, что до 90 % его территории сложено горными породами, в которых содержание одного или нескольких токсичных элементов значительно превышает кларковые. В случае перехода этих элементов в подвижные формы и активного

поступления в трофические цепи они могут представлять потенциальную опасность для человека. Площадь, занимаемая породами, наиболее богатыми токсичными элементами, составляет около 10 % территории. Среди них в первую очередь надо отметить карбонатные породы булайской свиты (суммарный индекс концентрации 26,5), габброиды еловского комплекса (25,6), а также карбонатно-соленосные толщи усольской и бельской свит, обогащенных Mo, В и Sr.

Рассматривая геохимические особенности региона в целом, можно отметить следующие закономерности. Выявленные разноранговые аномалии рудных и редких элементов представляют собой протяженные геохимические зоны и локальные проявления. Основными зонами являются следующие площади.

Первая, наиболее крупная, имеет северо-восточное и юго-западное направление, протягивается вдоль западного побережья оз. Байкал на 680 км при ширине около 130 км. С запада она ограничена Ангаро-Ленской СФЗ. Ее можно назвать Прибайкальской полиэлементной провинцией. Она имеет зональное строение: центральная ее часть характеризуется U, Hg, В, Cu, La, Zn-ассоциацией элементов, сменяющейся к северо-востоку U, Zn, Nb, Cu, Pb, затем редкоземельно-полиметаллической – Yb, Y, Zr, Nb, La, Cu, Zn, Pb и редкометалльно-редкоземельно-колчеданно-полиметаллической – Mo, Yb, Y, Cu, Zr, Pb, Zn; к юго-западу отмечаются ассоциации: U, Cu, Yb, Y, Zn и В, Cu, Zn, затем F, U, Mo. По ведущим элементам с юго-запада на северо-восток наблюдается следующая зональность: (F-В) – (U-Hg-Cu-Zn) – (U-Zn-Cu-Pb) – (Yb-Y-Cu-Zn-Pb) – (Mo-Yb-Cu-Pb-Zn). Выявленная зональность является естественным отображением металлогенической специфики данного региона – наличием флюоритовой, полиметаллической, колчеданно-полиметаллической минерализации в пределах Присаянья и Прибайкальского хребта.

Вторая площадь занимает северо-западную часть полигона, в которую входят Ангарская, Ангаро-Ленская и Ангаро-Бирюсинская зоны, что, возможно, и обусловило ее разделение на несколько обособленных районов и областей: Белореченскую – U-(В-F-Hg) – (Co-Ni) область, Черемховский – (Hg-В-Co), Зиминский – (U-Zn-Hg-В), Нукутский – (U-Hg-В) районы и Осинско-Качугскую (В-Cu) область.

Третья большая площадь расположена на южном побережье оз. Байкал. Самую значительную часть (> 500 км<sup>2</sup>) занимает Селенгинская (F, U, В) область, включающая в себя Удуглинский, Орогойский и Мантурихинский рудные узлы. В свою очередь, аномальная зона прерывистого типа, кольцом огибающая оз. Байкал с южной стороны, разобщена на три участка (с запада на восток): Байкальский (U, Cu, В), Выдринский (U, Cu, Pb, Zn, В) и Танхойский (В, U, Mo). Кроме того, эта зона коррелируется с фосфоритоносной провинцией (P-Ti-Nb-Sr). Здесь известны рудопроявления фосфора и возможно обнаружение новых рудопроявлений.

Четвертая зона расположена на восточном побережье оз. Байкал. Аномальная зона, протяженностью до 30–40 км при видимой ширине 10 км, представленная Th-Pb-Sr-Li-F-ассоциацией элементов, пространственно совпадает с Восточно-Хамар-Дабанской.

Кроме указанных зон на территории Байкальского полигона выявлены более мелкие аномальные площади со специфическими геохимическими ассоциациями элементов, свидетельствующими об их перспективности на золото, редкие земли, ниобий, цирконий и другие металлы.

Таким образом, потенциально рудные узлы Байкальского полигона установлены как в складчатом обрамлении платформы (Селенга-Витимская и Хамар-Дабанская СФЗ), так и в краевых выступах фундамента (Присаянская и Прибайкальская СФЗ). Причем рудные узлы, расположенные в складчатом обрамлении, более специализированы на уран и полиметаллы, а в краевых выступах платформы на золотое и редкометалльно-редкоземельное оруденение. Ангаро-Ленская СФЗ представляется значительно менее благоприятной для выявления в ее пределах рудных месторождений.

На основе площадной геохимической съемки масштаба 1:1 000 000 определен средний химический состав верхнего горизонта почв в целом для Южного Прибайкалья. Состав представлен следующим рядом (в %): SiO<sub>2</sub> (53,2) – Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (11,00) – Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (4,4) – С (3,3) – CaO (2,7) – K<sub>2</sub>O, MgO (1,9) – Na<sub>2</sub>O (1,8) – TiO<sub>2</sub> (0,7) – P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (0,3) – MnO, S (0,1) – Ba (0,06) – Sr (0,04) – Zr (0,03) – Nb (0,004).

Средние содержания компонентов в аллювиальных и делювиальных почвах близки. Не обнаружено существенных различий в содержаниях компонентов в структурно-формационных зонах, хотя и имеются некоторые различия по тем или иным силикатам. В пахотных землях содержания компонентов находятся в тех же пределах.

Содержание органического углерода в почвах колеблется в значительных пределах (< 0,08 до 25,9 %). Общее накопление органического углерода не слишком высокое, но выше кларковых значений для Европейско-Азиатского континента. Имеются некоторые различия в распределении средних содержаний органического углерода в почвах в различных структурно-формационных зонах. Наиболее высокие содержания свойственны для Ангаро-Ленской СФЗ, минимальные – для Удино-Витимской и Байкальской. Изменения изотопных отношений органического углерода в почвах невелики:  $\delta^{13}\text{C}$  колеблется в пределах от –27,6 до –24,2, в среднем –25,5.

Установлено пространственное распределение рассматриваемых компонентов, на изученной площади выявлены зоны с наиболее высокими их содержаниями.

## Список литературы

- Атлас Иркутской области / МГУ им. М. В. Ломоносова, геогр. фак. ; АН СССР, Сиб. отд-ние. – М. ; Иркутск : ГУГК, 1962. – 182 с.
- Баранов В. И. Радиогеология / В. И. Баранов, Н. А. Титаева. – М. : Изд-во МГУ, 1973. – 242 с.
- Беус А. А. Геохимия литосферы / А. А. Беус. – М. : Недра, 1981. – 335 с.
- Брукс Р. Р. Биологические методы поисков полезных ископаемых / Р. Р. Брукс. – М. : Недра, 1986. – 301 с.
- Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А. П. Виноградов. – М. : Изд-во АН СССР, 1950. – 279 с.
- Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных химических элементов в почвах / А. П. Виноградов. – 2-е изд., доп. – М. : Изд-во АН СССР, 1957. – 237 с.
- Воробьева Г. А. Особенности эволюции и генезиса почв Лено-Ангарского плато : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Г. А. Воробьева. – Иркутск, 1972. – 19 с.
- Геологическая карта Иркутской области и сопредельных территорий / сост. Г. Я. Абрамович [и др.]. – 1:500 000. – Л. : ВСЕГЕИ, 1982.
- Геологическая карта масштаба 1:1 000 000 / сост. А. А. Додин [и др.]. – 1:1 000 000. – Л. : Картфабрика, 1984. – Л. № 47 (48).
- Геохимическая активность разломов Байкальской рифтовой зоны (ртуть, радон, торон) / П. В. Коваль [и др.] // Докл. РАН. – 2006. – Т. 409, № 3. – С. 389–393.
- Геохимия окружающей среды Прибайкалья (Байкальский геоэкологический полигон) / В. И. Гребенщикова, Э. Е. Лустенберг, Н. А. Китаев, И. С. Ломоносов; науч. ред. акад. М. И. Кузьмин; Рос. акад. наук, Сиб. отд-е, Ин-т геохимии им. А. П. Виноградова. – Новосибирск : Академ. изд-во «ГЕО», 2008. – 234 с.
- Государственная геологическая карта СССР (нов. сер.). М 47(48). (Улан-Удэ). Карта дочетвертичных образований / сост. А. Л. Додин [и др.]. – 1:1 000 000. – Л. : ВСЕГЕИ, 1969.
- Государственная геологическая карта СССР (нов. сер.). N 49(50). (Чита). Карта полезных ископаемых / сост. А. Н. Ефимов [и др.]. – 1:1 000 000. – Л. : ВСЕГЕИ, 1986.
- Евдокимова В. Н. Автоматизированная система обработки геолого-геохимической информации методом многомерных полей // Геохимические методы поисков рудных месторождений в Сибири и на Дальнем Востоке. – Новосибирск : Наука. Сиб. отд-ние, 1978. – С. 3–26.
- Иванов В. В. Экологическая геохимия элементов : справ. : в 6 кн. / ред. Э. К. Буренков. – М. : Недра, 1994–1997.
- Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М. : Мир, 1989. – 438 с.

Кандер В. М. Ртутное оруденение зон активности юга Сибирской платформы и ее складчатого обрамления : автореф. дис. ... канд. геол.-минерал. наук. – Новосибирск, 1969. – 28 с.

Карта геохимической специализации геологических формаций Байкальского геоэкологического полигона / А. М. Ковешников, В. И. Медведев, Л. Г. Коршунов, В. И. Гребенщикова // IV Объедин. Междунар. симп. по проблемам прикладной геохимии (7–10 сент. 1994 г., Иркутск) : тез. докл. В 2 т. Т. 2. – Иркутск, 1994. – С. 118–119.

Карта ландшафтов юга Восточной Сибири / сост. В. С. Михеев, В. А. Ряшин ; ред. В. Б. Сочава. – 1:500 000. – М. : ГУГК, 1977.

Китаев Н. А. Рудные и редкие химические элементы в окружающей среде Прибайкалья (коренные породы, почвы, донные отложения) / Н. А. Китаев, В. И. Гребенщикова // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. – 2011. – № 8. – С. 40–45.

Китаев Н. А. Закономерности распределения токсичных химических элементов в почвах Прибайкалья (Сообщение 1: геохимические особенности структурно-формационных зон) / Н. А. Китаев, В. И. Гребенщикова // Инженер. экология. – 2012. – № 5. – С. 32–43.

Китаев Н. А. Многомерный анализ геохимических полей / Н. А. Китаев. – Новосибирск : Наука, 1990. – 120 с.

Китаев Н. А. Распределение и соотношение концентраций золота в породах, почвах и донных осадках Прибайкалья / Н. А. Китаев, В. И. Гребенщикова, В. А. Романов, А. М. Ковешников // Геология и геофизика. – 1998. – Т. 39, № 4. – С. 457–468.

Китаев Н. А. Ртуть в окружающей среде Южного Прибайкалья / Н. А. Китаев, В. И. Гребенщикова, Э. Е. Лустенберг, И. С. Ломоносов // Геоэкология, инженер. геология, гидрогеология, геокриология. – 2008. – № 6. – С. 517–530.

Ртуть в окружающей среде Южного Прибайкалья / Н. А. Китаев, В. И. Гребенщикова, Э. Е. Лустенберг, И. С. Ломоносов // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. – 2008. – № 6. – С. 517–530.

Коваль П. В. Геохимия окружающей среды Прибайкалья / П. В. Коваль, В. И. Гребенщикова, Н. А. Китаев // Геология и геофизика. – 2000. – Т. 41, № 4. – С. 571–577.

Изотопный состав углерода почв и донных осадков речных долин Прибайкалья / П. В. Коваль, Н. А. Китаев, Д. Ф. Вильямс, В. И. Гребенщикова, В. А. Романов // Геология и геофизика. – 1993. – Т. 34, № 10/11. – С. 217–225.

Коваль П. В. Компьютерная база геохимических данных – необходимая основа изучения геохимии окружающей среды Прибайкалья / П. В. Коваль, В. И. Гребенщикова, Э. Е. Лустенберг // Геохимия ландшафтов, палеоэкология человека и этногенез. – Улан-Удэ : Изд-во БНЦ СО РАН, 1999. – С. 132–135.

Коваль П. В. Многоцелевое геохимическое картирование масштаба 1:1 000 000 (МГХК 1 000) – основа фундаментальных и прикладных региональных геохимических работ (Байкальский геоэкологический полигон) / П. В. Коваль, М. И. Кузьмин // IV Объедин. Междунар. симп. по проблемам при-

кладной геохимии (7–10 сент. 1994 г., Иркутск) : тез. докл. В 2 т. Т. 2. – Иркутск, 1994. – С. 117.

Контроль химических и биологических параметров окружающей среды. Энциклопедия «Экометрия» / ред. Л. К. Исаева. – СПб. : Изд. экол.-аналит. информ. центра «Союз», 1998. – 891 с.

Кузьмин В. А. Почвы Предбайкалья и Северного Забайкалья / В. А. Кузьмин. – Новосибирск : Наука, 1988. – 174 с.

Малюга Д. П. Биогеохимический метод поисков рудных месторождений / Д. П. Малюга. – М. : Изд-во АН СССР, 1963. – 261 с.

Медведев В. И. Радиационное воздействия Семипалатинского ядерного полигона на Южную Сибирь (опыт многолетних исследований по Восточной и Средней Сибири и сопоставление результатов с материалами по Западной Сибири) / В. И. Медведев, Л. Г. Коршунов, Б. П. Черняго // Сиб. экол. журн. – 2005. – Т. 12, № 6. – С. 1055–1071.

Меньшиков В. И. Атомно-абсорбционная установка с использованием атомизатора печь-пламя для определения малых концентраций золота / В. И. Меньшиков, А. А. Хлебникова, В. Д. Цыханский // Сиб. VIII совещание по спектроскопии (Иркутск, 5–8 сент. 1972 г.) : тез. докл. – Иркутск, 1972. – С. 133–134.

Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами. – М. : Минздрав СССР, 1987. – 25 с.

Овчинников Л. Н. Прикладная геохимия / Л. Н. Овчинников. – М. : Недра, 1990. – 246 с.

Почвенная карта Иркутской области / сост. В. Г. Колесниченко, А. Уфимцева. – 1:500 000. – М. ; Иркутск : ГУГК, 1986.

Радиационное воздействие Семипалатинского ядерного полигона на Южную Сибирь (опыт многолетних исследований по Восточной и Средней Сибири и сопоставление результатов с материалами по Западной Сибири) / А. А. Мясников, В. И. Медведев, В. Богданов, В. И. Медведев, Л. Г. Коршунов, Б. П. Черняго // Сиб. экол. журн. – 2005. – Т. 12, № 6. – С. 1055–1071.

Распределение Cs-137 в почвах Прибайкалья / А. Н. Медведев, Н. А. Китаев, А. А. Мясников, М. И. Кузьмин, П. В. Коваль, А. Н. Фалилеев // Докл. АН СССР. – 1996. – Т. 349, № 1. – С. 93–96.

Распределение радиоактивных элементов в окружающей среде Прибайкалья (Сообщение 1. Уран) / В. И. Гребенщикова, Н. А. Китаев, Э. Е. Лустенберг, В. И. Медведев, И. С. Ломоносов // Сиб. экол. журн. – 2009. – № 1. – С. 17–28.

Распределение радиоактивных элементов в окружающей среде Прибайкалья (Сообщение 2. Торий и цезий-137) / В. И. Гребенщикова, Н. А. Китаев, Э. Е. Лустенберг, В. И. Медведев, И. С. Ломоносов, А. Н. Карчевский // Сиб. эколог. журн. – 2010. – № 3. – С. 493–503.

Ронов А. Б. Общие тенденции в эволюции химического состава осадочных и магматических пород земной коры континентов / А. Б. Ронов, Н. В. Бреданова, А. А. Мигдисов // Геохимия. – 1988. – № 2. – С. 180–198.

Савенко В. С. Химический состав материкового стока твердых веществ // Геохимия. – 2007. – № 8. – С. 889–897.



Сауков А. А. Очерки геохимии ртути / А. А. Сауков, Н. Х. Айдиньян, Н. А. Озерова. – М. : Наука, 1972. – 336 с.

Смыслов А. А. Уран и торий в земной коре / А. А. Смыслов. – Л. : Недра. Ленингр. отд-ние, 1974. – 231 с.

Справочник по геохимии / Г. В. Войткевич, А. В. Кокин, А. Е. Мирошников, В. Г. Прохоров. – М. : Недра, 1990. – 480 с.

Тейлор С. Р. Континентальная кора: ее состав и эволюция / С. Р. Тейлор, С. М. Мак-Леннан. – М. : Мир, 1998. – 384 с.

Фалилеев А. Н. Ландшафтно-геохимическое районирование территории Байкальского полигона / А. Н. Фалилеев, Н. А. Китаев // IV Объедин. Междунар. симп. по проблемам прикладной геохимии (7–10 сент. 1994 г., Иркутск) : тез. докл. В 2 т. Т. 2. – Иркутск, 1994. – С. 143–144.

Эколого-фитоценотические комплексы Азиатской России: опыт картографии / отв. ред. В. Б. Сочава. – Иркутск : Ин-т географии Сибири и Дальнего Востока, 1977. – 70 с.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ

Китаев Наум Анисимович  
Гребенщикова Валентина Ивановна

**РЕДКИЕ И РУДНЫЕ  
ЭЛЕМЕНТЫ В ОКРУЖАЮЩЕЙ  
СРЕДЕ ПРИБАЙКАЛЯ  
(КОРЕННЫЕ ПОРОДЫ, ДОННЫЕ  
ОТЛОЖЕНИЯ, ПОЧВЫ)**

ISBN 978-5-9624-1100-2

Редактор *В. В. Попова*  
Дизайн обложки: *П. О. Ершов*

Темплан 2015 г. Поз. 200  
Подписано в печать 22.12.2014. Формат 60×90 1/16.  
Уч.-изд. л. 6,0. Усл. печ. л. 7,8. Тираж 100 экз. Заказ 68

ИЗДАТЕЛЬСТВО ИГУ  
664003, Иркутск, бульвар Гагарина, 36  
тел. (3952) 24–14–36