

Г. Д. СУЛТАЛИШВИЛИ

ГИДРОХИМИЯ
ГРУЗИИ



оставшаяся часть равномерно распределена между сорбирующей, органической и силикатной медью [81,361,365].

Распределение, формы содержания и вопросы фазового равновесия меди в природных водах Грузии освещены в работах [142,144,189,195,200,291*,298,304,321,334,336].

10.1.2. Распределение растворенной меди. Содержание $Cu_{раств}$ в пресных поверхностных водах Грузии сравнительно стабильное (табл. 10.1). Абсолютное и относительное содержание $Cu_{раств}$ повышено в водах рек Аджарии и озерах Паравани и Сагамо. Причиной обогащения вод рек, вероятно, является повышенное содержание меди в почвах и породах Аджарии, а озера Джавахетии в регионе выделяются содержанием ФК и ГК [198,201]. По абсолютному и относительному содержанию меди выделяются также воды рек Джебжора, Дебеда и Машавера, в которые просачиваются сточные воды предприятий цветной металлургии.

Данные литературы [367] и полученные нами результаты (табл. 10.1) показывают, что воды зоны гипергенеза по $Cu_{раств}$ мало отличаются от поверхностных вод. Лишь в глубинных подземных водах Грузии повышено содержание $Cu_{раств}$. Увеличение доли подземного питания поверхностных вод зимой, а также обогащенные микроэлементами первые стоки талых вод снега весной [83,288] обуславливают пиковые содержания $Cu_{раств}$ в реках. По нашим оценкам, доля атмосферной меди в водах р. Арагви достигает 35% [142].

Вопреки данным литературы [130,213] содержание $Cu_{раств}$ и $Cu_{орг}$ в поверхностных и подземных водах Грузии и Армении находится в тесной связи с величиной Zi . Соответствующие коэффициенты корреляции варьируют в пределах $+(0,72-0,97)$ и $-(0,60-0,86)$.

Связь $pH-Cu_{раств}$ сложна. Дело в том, что изменение pH разнозначно влияет на мобильность меди. С увеличением pH увеличивается склонность меди как к комплексобразованию, так и тидролизу и сорбции. В поверхностных водах Грузии все же преобладают процессы комплексобразования, т.к. связь $pH-Cu_{раств}$ положительна ($r=+0,67$). В подземных водах, в отсутствии ФК, между этими параметрами существует обратная связь ($r=-0,58$).

С_{раств} в природных водах Грузии и Армении
Таблица 10.1

Объекты	Число проб	мкг.л ⁻¹		мг.кг ⁻¹	
		от - до	средние	от - до	средние
1	2	3	4	5	6
Ледниковые реки	19	0,4-4,0	1,6	3,4-97,1	23,3
Реки Абхазии	36	0,2-14,5	3,9	3,0-92,9	25,5
Реки Аджарии	13	2,8-15,4	7,5	17,0-76,5	45,1
Р. Ингури	15	2,0-15,0	4,4	9,9-73,1	32,7
Р. Риони	37	1,3-13,0	5,2	7,2-52,0	30,3
Притоки р. Риони	38	1,6-16,2	5,5	6,2-123	34,5
Р. Кура	66	2,0-16,5	7,5	5,1-68,1	31,3
Р. Арагви	47	1,6-24,8	6,2	6,2-121	24,5
Др. притоки р. Куры	73	1,3-16,4	4,6	1,4-125	24,1
Р. Терек	5	1,6-4,8	3,5	7,6-18,8	14,9
Притоки оз. Севан	27	0,8-4,8	1,6	2,4-16,8	8,6
Др. реки Армении	17	0,3-4,4	2,3	4,0-23,2	10,6
Загрязненные реки	33	2,0-79,4	14,7	3,8-245	46,9
Тбилисское вод.-щс	8	2,0-7,0	3,6	6,1-21,4	11,8
Сиюньское вод.-щс	37	0,0-18,8	4,6	0,0-63,0	23,0
Озера Джавахетии	36	1,6-8,0	5,0	22,8-101	62,9

1	2	3	4	5	6
Др. пресные озера	13	0,4-14,8	6,4	7,3-45,7	26,8
Озеро Севан	16	0,6-3,2	1,4	0,9-4,4	2,0
Солоноватые озера	7	3,5-11,6	7,3	1,8-5,9	3,5
Грунтовые воды	55	0,0-7,2	2,2	0,0-55,6	7,7
Глубинные воды	18	2,0-65,0	13,2	0,2-50,0	7,6

10.1.3. Формы содержания $\text{Cu}_{\text{раств}}$ в поверхностных водах.

Содержание неорганических и органических форм меди в поверхностных водах Грузии примерно равно (табл. 10.2). Коллоидная форма меди, в среднем, составляет 20% от $\text{Cu}_{\text{обит}}$. Формы меди были определены по методике [125,194]. Анализ полученных данных показывает, что с увеличением Σ увеличивается доля $\text{Cu}_{\text{неорг}}$ ($r=+0,87$). Максимальное содержание $\text{Cu}_{\text{орг}}$ обнаружено в водах озера Паравани и верховьях р. Куры.

Таблица 10.2

Формы миграции меди в речных водах (% от $\text{Cu}_{\text{раств}}$)

Река- пункт	Число проб	Cu (раств), мкг.л ⁻¹	Коллоидная	Неорганическая	Органическая
1	2	3	4	5	6
Кура – Миндазе	3	10,0	10	30	60
Кура – Мцхета	6	6,2	22	41	37
Кура – Тбилиси	4	8,4	19	28	53
Кура – Шыхлы	4	23,9	12	70	18
Паравани – устье	3	7,2	10	0	90
Арагви – Пасанаури	3	6,8	18	33	49

1	2	3	4	5	6
Черн. Арагви-Пасанаури	2	9,8	27	37	36
Арагви – Жинвалли	4	6,5	37	25	38
Арагви – устье	5	6,5	24	50	26
Храми – устье	5	25,3	8	72	20
Алазани – Цнори	3	4,0	15	50	35
Иптури – устье	3	5,6	27	44	29
Чорохи – Эрге	3	8,4	23	53	24
Адж. Цкали-устье	2	6,2	26	37	37

Фракционированием концентратов проб поверхностных вод на сефадексе G-25 установлено, что основной вклад в баланс $\text{Cu}_{\text{раств}}$ вносят комплексные соединения $\text{Mg}>1000$ (Cu) и $\text{Mg}<180$ (Cu_{III} ; табл. 10.3). Учитывая устойчивость комплексов меди [191,195], pH и химический состав вод, можно предполагать, что высокомолекулярная фракция является фульватом меди. Вторая доминирующая фракция ($\text{Mg}<180$), по-видимому, представлена неорганическими соединениями меди: Cu^{2+} , CuOH^+ , $\text{Cu}(\text{OH})_2$, CuHCO_3^+ и CuSO_4 . Соответствующие расчеты [199] показали, что за исключением незначительна (таб. 10.4). Основную часть $\text{Cu}_{\text{раств}}$ составляют гидрокси- или фульвокомплексы меди, в зависимости от pH вод и концентрации ФК. Необходимые для расчетов константы устойчивости гидрокси- и фульватных комплексов были определены методом растворимости [190,191]: $\beta(\text{CuOH}^+)=3,0,7 \cdot 10^7$; $\beta(\text{Cu}(\text{OH})_2)=2,54 \cdot 10^4$; $\beta(\text{Cu}(\text{OH})_2 \text{ ФК}) = 3,12 \cdot 10^6$.

Можно доказать [196], что для конкуренции с гидроксидом в координационной сфере меди концентраты

виде гидратированного иона и гидрокарбонатных комплексов [125, 165, 174]. Очевидно, что в миграции цинка весьма важна роль органических лигандов [125, 174].

Диаллазон колебания концентрации $Zn_{раств.}$ в поверхностных водах Грузии составляет 1,0-29 мкг. л⁻¹ (табл. 10.8). „Дефицит“ цинка объясняется низким содержанием ФК и повышенной мутностью вод, а также распространением карбонатных пород, ограничивающих подвижность цинка [47]. По абсолютному и относительному содержанию цинка выделяются воды р. Джебджора, в которые поступают сточные воды обогатительной фабрики полиметаллических руд.

Абсолютное и относительное содержание $Zn_{раств.}$ находится в тесной связи с величиной $\Sigma(t + 0,71 - 0,93 \text{ соответственно})$. Поэтому региональное и внутриводное распределение $Zn_{раств.}$ определяется изменением Σ .

$Zn_{раств.}$ в поверхностных водах

Таблица 10.8

Объекты	Число проб.	мкг. л ⁻¹		сред.	%от $\Sigma, 10^3$	
		от - до	3		от - до	сред.
1	2		4		5	6
Реки Абхазии	22	3,2 - 19,0	7,8	1,3 - 15,8		6,8
Реки Аджарии	6	4,6 - 19,6	9,8	3,2 - 10,1		5,5
Р. Ингури	8	7,0 - 25,6	15,7	3,8 - 16,7		8,6
Р. Риони	19	2,6 - 23,0	7,7	1,2 - 13,7		4,4
Шхитоки р. Риони	31	1,0 - 26,8	8,3	0,5 - 12,5		5,8
Р. Кура	20	6,6 - 23,6	15,4	1,5 - 15,7		5,7
Р. Арагви	20	4,2 - 21,0	13,8	2,0 - 8,1		4,7
Др. притоки р. Куры	35	5,0 - 29,0	13,6	1,0 - 15,8		4,3
Притоки оз. Севан	6	5,0 - 10,0	7,4	1,1 - 4,2		2,3

1	2	3	4	5	6
Реки Сев. Кавказа	7	8,6 - 11,5	10,2	3,9 - 15,3	7,6
Р. Джебджора-устье*	6	19,0 - 44,0	33,8	12,8 - 30,3	22,0
Водохранилища	16	1,3 - 26,8	13,9	0,6 - 5,7	2,9
Озера Абхазии	4	1,0 - 5,8	3,0	1,8 - 8,3	4,1
Озера Джавахети	8	13,8 - 19,2	16,1	15,5 - 17,1	16,2
Солоноватые озера	4	11,4 - 16,8	14,6	1,0 - 1,2	1,1

* - загрязненная река

Цинк легко гидролизуется и образует гидрокомплексы разного состава [441]. Поэтому содержание $Zn_{раств.}$ должно определяться рН вод. С увеличением рН до 8 содержание $Zn_{раств.}$ снижается, а дальше незначительно, но все же повышается (рис. 10.6). Образование цинкатов при рН ≤ 8,5 маловероятно и прямую связь между параметрами можно объяснить образованием карбонатных и фульватных комплексов цинка в щелочной среде.

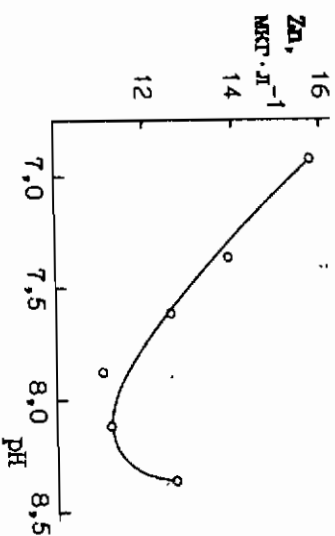


Рис. 10.6. Зависимость содержания $Zn_{раств.}$ от рН поверхностных вод.

Формы содержания $Cr_{раств}$ в природных водах разнообразны [13, 174, 403]. В зависимости от генезиса, eh и pH вод соотношение $Cr(III)$ и $Cr(VI)$ меняется в широком интервале [13, 174, 309]. В результате гидролитической трансформации и взаимодействия с ФК основная часть $Cr(III)$ в водах находится в виде мономерных гидроксокомплексов и разнозарядных фульватов [13, 174, 403].

Содержание хрома во взвеси поверхностных вод близко к кларку (0,0083%). По этому параметру долгие осадки мало отличаются от взвеси (40-150 мг. $кг^{-1}$, среднее 84 мг. $кг^{-1}$ [209]. Во взвешенном виде реки транспортируют 90,5-98,7% от $Cr_{общ}$ [49, 72, 174, 365].

Содержание хрома в водах, взвеси и осадках поверхностных вод Грузии и Армении было изучено нами в 1969-1970 гг. [142, 309], 1972-1975 и 1982-1985 гг. По полученным данным (табл. 10.16) содержание $Cr_{раств}$ в поверхностных водах низкое и стабильное. Видимо, в буферировании концентрации хрома весьма существенна сравнительная однородность форм его содержания (табл. 10.17). В частности, за исключением атмосферных и дельниковых вод, практически весь хром (III) в поверхностных водах находится в виде гидроксокомплексов. Рассчитав по ПР равновесная концентрации хрома (0,6 мг. $л^{-1}$) совпадает с содержанием $Cr(III)$ в водах (табл. 10.18).

Содержание $Cr_{раств}$ и $Cr_{отн}$ находится в тесной, но разнозначной связи с Σi ($r + 0,74$ и $- 0,72$ соответственно). Абсолютное и относительное содержание растворенного хрома более четко реагирует на изменение pH вод (табл. 10.19). Однако логичность прямой связи между pH и $Cr_{раств}$ требует обоснования. Возможно, это является следствием

торможения сорбции $Cr(III)$ на отрицательно заряженных сорбентах в результате уменьшения положительного заряда гидроксокомплексов [13, 174].

Таблица 10.16

Хром в поверхностных водах Грузии и Армении

Объекты	Растворенный			Взвешенный	
	п	мг. $л^{-1}$ от - до	средн.	п	мг. $л^{-1}$
Дельниковые воды	6	0,0-0,6	0,4	3	172
Реки Абхазии	8	0,8-1,3	1,0	5	1,7
Реки Аджарии	4	0,8-0,9	0,9	7	27,2
Р. Ингури	3	1,2-1,3	1,3	15	23,2
Р. Риони	17	0,2-1,1	0,7	12	35,2
Притоки р. Риони	32	0,2-1,6	1,1	13	74,6
Р. Кура	14	1,1-3,2	1,9	9	45,6
Р. Арагви	19	0,0-5,0	2,1	3	65,6
Др. притоки Куры	24	0,2-5,2	1,8	6,5	13
р. Терек	3	1,0-1,2	1,1	5,2	3
Притоки оз. Севан	32	0,3-3,0	1,2	3,0	0
Др. реки Армении	20	0,2-3,2	1,0	3,6	3*
Снопское вод-ще	11	0,3-1,9	0,7	3,8	7**
Тбилисское вод-ще	6	0,6-1,2	0,9	2,7	0
Озера Джавахети	19	0,2-1,0	0,5	7,9	0
Оз. Севан	7	0,9-2,0	1,4	2,0	6**
Грунтовые воды	25	0,2-2,4	0,8	3,1	0

* - р. Дебеда; ** - долгие осадки.

Раздельное определение Cr (III) и Cr (VI) в свежих пробах вод рек Грузии показало, что соотношение анионной и катионной форм хрома в среднем равно 1,5 (табл. 10.18).

Таблица 10.17

Формы содержания Cr (III) в поверхностных водах (% от Cr_{раств})

Воды	Cr ³⁺	Cr(OH) ₂ ⁺	Cr(OH) ₃
Атмосферные осадки (село)	1,3	40,1	58,6
Атмосферные осадки (город)	17,6	69,6	12,8
Ледниковые воды	0,4	25,4	74,2
Ледниковые реки	0,1	9,8	90,1
Р. Арагви-устье	0,0	0,0	100,0
Р. Кура-Минадзе	0,0	0,4	99,6
Р. Кура-Мцхета	0,0	0,0	100,0
Р. Кура-Шыххлы	0,0	0,0	100,0
Р. Риони-Гумати	0,0	0,0	100,0
Сионское вод-це	0,0	0,0	100,0
Оз. Паравани	0,0	0,6	99,4
Оз. Лиси	0,0	0,5	99,5
Оз. Севан	0,0	0,0	100,0

Таблица 10.18

Содержание Cr(III) Cr(VI) в поверхностных водах (мг. л⁻¹)

Река - пункт	Cr(III)	Cr(VI)	Река - пункт	Cr(III)	Cr(VI)
Бзыбь-устье	0,2	0,6	Кура-Минадзе	0,6	0,8
Кодори-устье	0,4	0,5	Кура-Мцхета	0,8	0,8
Иштური-Рухи	0,5	0,8	Кура-Рустави	1,1	1,6
Риони-Жонети	0,3	0,7	Диахви-устье	0,6	0,9
Риони-устье	0,4	0,7	Арагви-устье	0,5	0,7
Цх.лкали-устье	0,6	0,8	Храми-устье	0,8	0,9
Чорохи-Ерге	0,3	0,6	Алазани-Кеда	0,6	0,8

Содержание Cr_{взд} в водах рек Грузии колеблется в широком интервале (0,00-0,29 мг. л⁻¹) и в среднем равно 58 мг. л⁻¹. Во взвешенном виде реки Грузии переносят 98% от Cr_{общ}.

Содержание хрома во взвеси – менее вариабельная величина (экстремумы - 36-128, средние - 53-86 мг. кг⁻¹, табл. 10.16). По данным [81] взвеси рек Западной Грузии содержат от 40 до 112 мг. кг⁻¹ хрома. В результате действия антропогенных факторов содержание Cr_{общ} во взвеси рек Храми и Куры (ниже г. Рустави) повышается до 109-125 мг. кг⁻¹.

Данные литературы [13, 174] и полученные нами результаты (рис. 10.8) показывают, что Cr (III) хорошо сорбируется на природных сорбентах. Однако анализ полученных данных показывает, что сорбционные возможности взвеси в поверхностных водах реализуются частично. В частности, отсутствует обратная связь между мутностью вод и содержанием Cr_{раств}, средние величины Cr_{общ} мало отличаются от кларка. Кроме этого, по данным

принадлежит глинистым минералам и аморфным гидроксидам [396]. Вероятно, поверхностные процессы являются одной из причин обогащения тонкой фракции свинцом [73, 81, 177, 214].

10.7.2. Свинец в поверхностных водах. Содержание $Pb_{\text{раств}}$ в поверхностных водах Грузии и близлежащих регионов низкое и стабильное (табл. 10.24). В индустриальных пробах оно колеблется в пределах 0,0-5,5 мкг. л⁻¹. В 93% случаев среднее содержание $Pb_{\text{раств}}$ не выходит за пределы 0,5-1,5 мкг. л⁻¹.

Более информативной величиной является $Pb_{\text{отп}}$. По этому параметру явно выделяются реки Дзеджора и Хертвиси, Сионское водохранилище и оз. Рипа. Источниками обогащения вод р. Дзеджора и оз. Рипа антропогенным свинцом являются сточные воды Квасисской обогатительной фабрики полиметаллических руд и выхлопные газы прогулочных катеров. В водах р. Хертвиси повышено содержание ФК (табл. 7.17), которые способствуют накоплению растворенных форм тяжелых металлов в водах.

Судя по содержанию свинца в атмосферных осадках и подземных водах (1,2-2,7 мкг. л⁻¹, табл. 4.19 и 10.24), концентрация $Pb_{\text{раств}}$ в поверхностных водах, с учетом испаряемости, должна быть в 2-3 раза больше наблюдаемой. Вероятно, активное участие свинца в сорбционных процессах является основной причиной снижения и нивелирования концентрации $Pb_{\text{раств}}$ в поверхностных водах.

Определенное представление об источниках и путях перераспределения $Pb_{\text{раств}}$ дают результаты корреляционного анализа (табл. 10.25). Тесная связь между Zn и $Pb_{\text{раств}}$ показывает, что значительная часть свинца в поверхностных водах поступает от природных источников. По течению рек, за счет природных и антропогенных факторов, увели-

304

чивается содержание свинца. Этим обусловлена обратная связь между h и $Pb_{\text{раств}}$.

Таблица 10.24

Содержание $Pb_{\text{раств}}$ в поверхностных и подземных водах

Объекты	n	мкг. л ⁻¹		мг. кг ⁻¹	
		от - до	средние	от - до	средние
Реки Абхазии	23	0,4-0,6	1,0	1,9-19,6	7,7
Реки Аджарии	6	0,3-1,8	1,2	2,0-9,3	6,2
Р. Ингури	10	0,0-1,6	0,9	0,0-12,1	8,8
Р. Риони	32	0,0-2,0	0,7	0,0-9,2	3,6
Притоки р. Риони	33	0,0-2,0	0,6	0,0-12,5	3,5
Р. Кура	60	0,0-2,1	1,1	0,0-8,8	4,4
Р. Хертвиси	8	0,4-1,9	0,8	4,4-26,0	12,3
Р. Арагви	38	0,2-3,0	0,8	0,8-13,6	3,2
Др. притоки р. Куры	66	0,0-2,1	0,8	0,0-6,8	2,3
Р. Терек с притоком	9	0,4-1,2	0,7	2,1-6,8	3,7
Реки Сев. Кавказа	8	0,0-2,3	1,2	0,0-9,5	6,7
Реки Армении	60	0,0-2,4	0,7	0,0-21,5	4,1
Сионское вод.-ще	22	0,4-5,5	1,5	2,0-29,0	11,4
Самторское вод.-ще	8	0,0-2,1	1,0	0,0-6,4	2,8
Оз. Рипа	7	0,8-1,6	1,3	9,8-26,6	16,0
Др. оз. Абхазии	4	0,2-0,8	0,6	3,5-5,0	4,2
Оз. Лиси	4	0,5-1,2	0,9	0,3-0,8	0,6
Оз. Севан	32	0,0-3,3	0,9	0,0-4,6	1,3
Загрязненные реки*	15	1,6-7,0	1,8	9,5-23,4	11,6
Подземные воды					
Западная Грузия	36	0,0-13,5	2,7	0,0-10,2	7,1
Восточная Грузия	64	0,0-5,4	1,6	0,0-5,6	3,2
Хевзи	12	0,7-6,5	2,1	0,6-2,2	1,1

*Кура ниже г. Рустави, Дзеджора - Они.

Таблица 10.31

Содержание $Mp_{раств}$ в поверхностных водах Грузии

Объекты	Число проб	мкг. л ⁻¹		мг. кг ⁻¹	
		от - до	средние	от - до	средние
Реки Абхазии	20	4,0 - 34,0	10,3	22 - 200	87
Реки Аджарии	5	7,5 - 59,0	15,4	44 - 396	130
Р. Ингури	8	5,3 - 55,0	19,0	30 - 359	99
Р. Риони*	16	2,0 - 39,0	20,3	10 - 255	105
Притоки р. Риони**	29	7,5 - 46,0	18,1	23 - 363	115
Р. Кура	21	6,5 - 69,0	21,9	17 - 448	82
Р. Арагви	23	3,0 - 61,0	19,5	12 - 188	74
Др. притоки р. Куры	36	1,0 - 57,0	18,8	4 - 207	60
Р. Терек	5	6,8 - 33,0	16,4	20 - 270	128
Загрязненные реки***	10	27,5 - 420	235	136 - 2370	1090
Водохранилища	5	12,0 - 53,0	24,4	16 - 154	67
Озера Абхазии	5	3,0 - 17,0	7,6	21 - 288	1153
Озера Джавахети	3	3,0 - 9,0	6,0	27 - 92	64
Солоноватые озера	3	8,0 - 35,0	20,7	12 - 27	18

* - выше впадения р. Квирилы; ** - без р. Квирилы; *** - р. Квирилы и нижнее течение р. Риони.

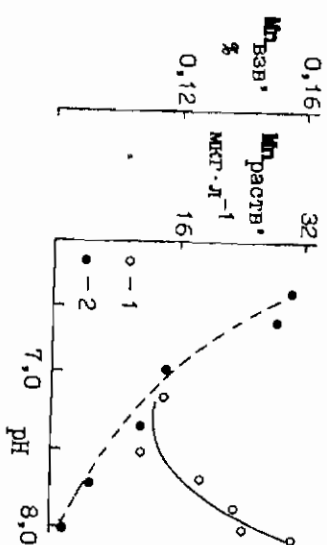


Рис. 10.12. Зависимость $Mn_{взв}$ (1) и $Mn_{раств}$ (2) от pH поверхностных вод Грузии

Таблица 10.32
Содержание марганца во взвеси и осадках поверхностных вод Грузии

Объекты	Взвеси			Осадки	
	п	мг. л ⁻¹	%	п	%
Р. Кура и ее притоки	32	0,36	0,12	12	0,08
Р. Риони и ее притоки	11	0,88	0,10	6	0,09
Р. Ингури и ее притоки	8	0,30	0,08	5	0,07
Реки Абхазии	2	0,40	0,11	2	0,12
Реки Аджарии	3	0,55	0,14	4	0,12
Р. Терек	6	3,96	0,17	1	0,06
Загрязненные реки	4	9,92	4,78	3	4,06

сорбции никеля на природных сорбентах в результате доминирования нейтральной формы гидроксокомплекса при $pH > 7$ (рис. 10.15). Действительно, по данным литературы [79, 379] при $pH > 6,5$ сорбция Ni^{2+} на серпентините, иллите и др. уменьшается.

Таблица 10.36

Содержание $Ni_{расв}$ в поверхностных водах

Объекты	n	мгк. л ⁻¹		% от $\Sigma i \cdot 10^3$	
		от - до	сред.	от - до	сред.
Ледниковые реки	5	0,7 - 2,6	1,3	0,6 - 2,6	1,7
Реки Абхазии	23	1,5 - 11,2	4,2	0,7 - 7,9	3,1
Реки Алжарии	6	1,6 - 10,8	4,7	0,7 - 4,8	2,8
Р. Ингури	8	1,6 - 8,2	6,1	1,6 - 5,0	2,9
Р. Риони	18	1,5 - 11,6	4,6	0,9 - 5,8	2,9
Притоки р. Риони	33	1,0 - 9,2	4,2	0,6 - 9,9	2,5
Р. Кура	23	1,8 - 11,6	4,8	0,4 - 6,0	1,9
Р. Арагви	25	1,6 - 19,5	5,2	0,6 - 7,0	1,8
Др. притоки р. Куры	51	1,0 - 17,0	4,6	0,2 - 6,2	1,7
Пригоки оз. Севан	25	1,0 - 4,4	1,9	0,4 - 2,5	1,2
Др. реки Армении	10	0,6 - 3,4	2,3	0,3 - 1,3	0,8
Сионское вод-ще	11	1,3 - 2,8	2,0	0,7 - 1,5	1,0
Тбилисское вод-ще	6	2,2 - 14,5	6,6	0,7 - 4,4	2,0
Озера Абхазии	4	1,0 - 2,3	1,8	1,2 - 4,0	3,1
Озера Джавахети	17	1,0 - 4,0	2,6	1,5 - 6,5	3,6
Солоноватые озера	3	2,2 - 6,8	4,5	0,2 - 0,3	0,2

Результаты расчетов форм содержания $Ni_{расв}$ (табл. 10.37) в пресных поверхностных водах Грузии показали, что в атмосферных и в ледниковых водах около 98 % от общего никеля находится в ионной форме. С увеличением концентрации ФК, естественно, увеличивается доля фульватов никеля. В отличие от ряда тяжелых металлов, доля гидроксокомплексов никеля незначительна. Также невысоко содержание сульфатных комплексов, за исключением вод, содержащих аномально высокое количество SO_4 (например, воды оз. Лиси).

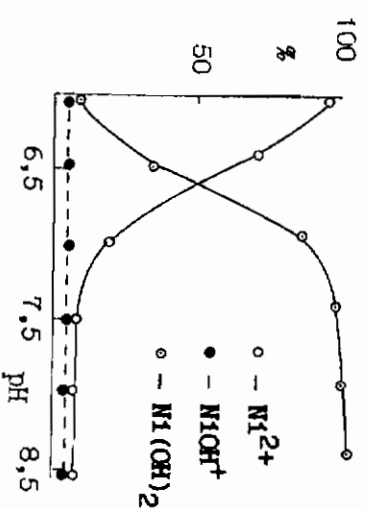


Рис. 10.15. Зависимость форм никеля от pH раствора.

Взвеси речных вод Грузии и Армении содержат от 19,0 до 231 мг. кг⁻¹ никеля (среднее 53,4 мг. кг⁻¹; табл. 10.38). В донных осадках его содержание ниже (среднее - 49,2 мг. кг⁻¹, экстремальное - 25,0 - 80 мг. кг⁻¹). Взвеси речных вод, в среднем, содержат в 1,1-1,2 раза больше никеля, чем донные осадки. С увеличением высот бассейнов соотношение $Ni_{отн} : Ni_{отн}^{осад}$ приближается к 1.

Абсолютное и относительное содержание микроэлементов в речных водах Грузии

Реки	мкг. л ⁻¹										
	В	І	As	Ba	Cu	Zn	Pb	Cr	Mo	Mn	
Ледниковые	н. д.	1,8	0,6	9	1,6	н. д.	н. д.	0,4	2,5	н. д.	
Зап. Грузии	20	9,7	1,7	64	5,3	9,9	1,0	3,6	16	6	
Вост. Грузии	29	12,6	2,7	65	6,1	14,3	1,0	1,9	3,8	20,1	
Загрязненные	-	-	14,8	107	14,7	33,8	1,8	-	9,1	235	
мг. кг ⁻¹											
Ледниковые	н. д.	54	5	180	23	н. д.	н. д.	6	22	н. д.	
Зап. Грузии	138	63	10	323	34	62	5,7	5	21	107	
Вост. Грузии	115	46	9	203	27	49	5,7	7	13	72	
Загрязненные	-	-	107	530	47	220	11,6	-	45	1090	

Степень и характер зависимости содержания растворенных и взвешенных форм микроэлементов от ряда факторов количественно можно оценить по величинам соответствующих коэффициентов корреляции (табл. 11.3^а и 11.3^б).

Важнейшим фактором, определяющим макро- и микрохимический состав поверхностных вод, является высота бассейнов рек (h). С ее увеличением абсолютное содержание микроэлементов уменьшается (табл. 11.3^в). Исключение составляет Al³⁺, о чем было сказано в §10.3.

Связь относительного содержания микроэлементов с h не однозначна. Обратная связь между этими величинами догична и не требует обоснования. Иное поведение I-, B

мерно увеличивается по течению рек или с уменьшением средних абсолютных высот бассейнов рек (табл. 11.4). Исключение составляет алюминий, основным источником которого являются свежие продукты эрозии пород.

Таблица 11.1

Микроэлементы в воде, взвеси и осадках поверхностных вод Грузии

Элемент	Вода, мкг. л ⁻¹		Взвеси, мг. кг ⁻¹		Осадки		Доля взв. ф-ры, %		
	от-до	сред.	от-до	сред.	п	мг. кг ⁻¹			
F	81	10-330	110	15	340-580	450	26	380	74
B	359	6,1-45,8	22,3	69	71-176	113	18	54	68
Br	259	1,6-42,5	16,4	0	н. о.	н. о.	0	н. о.	н. о.
I	404	3,8-15,7	9,8	16	2,0-7,7	4,8	15	4,7	18
As	224	0,6-4,1	2,5	66	5,6-28,7	15,4	23	13,7	77
V	70	0,0-7,5	1,5	57	0,3-3,0	1,1	31	1,0	31
Se	53	0,0-3,2	0,4	0	н. о.	н. о.	0	н. о.	н. о.
Mo	254	1,7-4,8	3,3	18	0,0-7,3	2,0	19	1,7	19
Li	83	0,7-7,6	3,0	12	15-60	35	12	29	83
Ba	87	9-107	61	8	514-720	550	13	446	83
Ag	120	0,0-0,3	0,1	16	0,2-3,4	0,9	16	0,5	80
Be	53	0,0-0,09	0,03	0	н. о.	н. о.	0	н. о.	н. о.
Cu	520	1,6-7,5	5,0	110	41-166	97	12	51	88
Zn	189	3,0-16,1	11,4	15	82-246	150	30	122	93
Al*	81	10-40	38	50	52-121	82	53	73	99
Cr	166	0,4-2,1	1,1	88	53-86	68	0	н. о.	98
Ti*	37	1,0-9,5	5,0	51	2,0-12,4	4,9	41	5,40	99
Zr	6	<1	н. о.	15	76-220	120	27	164	99
Pb	445	0,0-7,0	0,9	41	7-308	66	43	20	97
Mn*	176	6,0-21,9	16,8	62	0,12-4,48	0,97	30	0,90	98
Ni	230	1,3-6,6	3,9	65	32-81	55	38	47	90
Co	0	н. о.	н. о.	7	14-18	16	22	15	97

* - г. кг⁻¹ (содержание элемента во взвеси и осадках).