

МЕЖДУНАРОДНАЯ АССОЦИАЦИЯ
ГЕОХИМИИ И КОСМОХИМИИ
(МАГК)
РАБОЧАЯ ГРУППА
по поисковой геохимии

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
ИНСТИТУТ ГЕОХИМИИ
им. академика А. П. ВИНОГРАДОВА

ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ПОИСКОВ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ И ПРОГНОЗА ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ

(Материалы Второго международного симпозиума
«Методы прикладной геохимии»)

(Отдельный оттиск)



И З Д А Т Е Л Ь С Т В О «Н А У К А»
СИБИРСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ
Новосибирск. 1983

ГЕОХИМИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ РАЗЛИЧИЯ РУДНЫХ И АНТРОПОГЕННЫХ ПОТОКОВ РАССЕЯНИЯ В ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОТОКАХ

В последние годы большое внимание уделяется вопросам геохимического изучения антропогенных потоков рассеяния в поверхностных водотоках и их сопоставления с потоками рассеяния рудных месторождений, механизм формирования которых выявлен достаточно хорошо. Особенно подробно изучены потоки рассеяния в донных отложениях [Квашневская, 1957; Хокс, Уэбб, 1964; Поликарпочкин, 1976; Левинсон, 1976; и др.], появляются работы по сравнению антропогенных и рудных потоков рассеяния в районах развития горно-обогатительных предприятий [Мрня, 1979; Филиппова, Григорян, 1979]. В то же время данных по детальному анализу антропогенных потоков рассеяния пока еще мало. Можно отметить обобщающие работы, посвященные загрязнению водных систем, где отражены вопросы геохимии техногенных потоков рассеяния [Förstner, Müller, 1974; Förstner, Wittmann, 1979].

Рудные и антропогенные источники формирования потоков рассеяния различаются по способу поставки и формам химических элементов. Для рудных потоков рассеяния основное их поступление связывается с деятельностью склоновых процессов (в основном поступление механических продуктов разрушения рудоносных пород) и выходом подземных вод (в основном поступление растворенных веществ). Интенсивность склоновых процессов зависит от физико-географических особенностей территории, что позволяет говорить о географической зональности поступления твердых веществ в рудные потоки рассеяния. В годовом водном питании малых рек подземные воды составляют в среднем 30%, достигая для отдельных из них 46—50% [Царев, 1968; Боженко, 1975], что обусловливает сравнительно равномерное поступление в разрезе года водно-растворимых веществ в рудные потоки рассеяния. Твердая фаза распределена во времени крайне неравномерно. До 70—99% от годового стока взвешенных веществ на малых реках транспортируется в период снеготаяния [Прыткова, 1973]. Имеющиеся данные свидетельствуют о преобладании твердого стока над жидким. Согласно Г. В. Лопатину (1952), соотношение между взвешенными и растворенными веществами, переносимыми реками, в среднем для СССР составляет 3,5 : 1. В целом поступление материала в рудные потоки рассеяния по сезонам года крайне неравномерно и зависит от гидрологического режима водотоков.

В антропогенных потоках, кроме поверхностного стока, значительную часть составляет прямой круглогодичный сброс в водотоки сточных вод, содержащих огромные количества загрязняющих веществ. В крупных урбанизированных территориях объемы поступающих веществ, поставляемые канализацией, промышленным и поверхностным стоками, многократно превышают природные источники поступления химических элементов (рис. 1). Отмечено увеличение роли твердого материала в поставке многих химических элементов в сравнении с природными условиями. Поступление вещества в урбанизированных районах в меньшей степени зависит от гидрогеологической ситуации и более равномерно распределено по сезонам. Например, в природных условиях дожди слабой и средней интенсивности, как правило, не вызывают поверхностного стока и лишь при ливневых дождях образуются интенсивные склоновые потоки, размывающие почву. Анализ литературных данных показал, что в естественных условиях примерно 80% осадков расходуется на увлажнение территории и только 20% стекает поверхностным путем. Коэффициент стока для лесной и лесостепной зон умеренного климата СССР, например, составляет от 0,2 до 0,3. Кроме того, на смык существенно влияют свойства

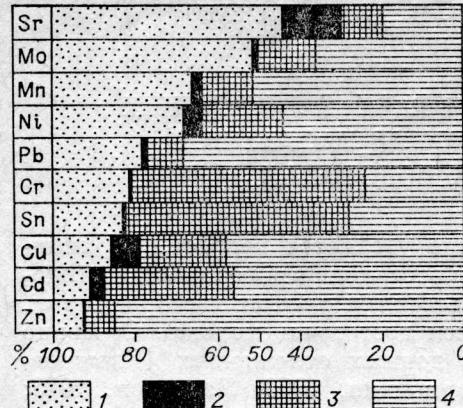


Рис. 1. Баланс поставки химических элементов в поверхностные водотоки источниками различного типа.

1 — фоновый сток; 2 — сток промышленных вод разной степени очистки; 3 — канализационный сток; 4 — поверхностный ливневый сток.

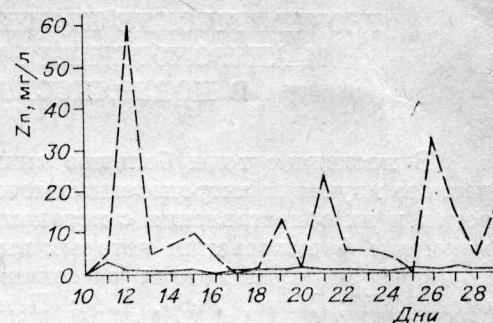


Рис. 2. Динамика распределения растворенного цинка в воде малой реки в зоне влияния промышленного объекта и в фоновом водотоке.

Штриховая линия — створ на ручье, дренирующем промышленную зону; сплошная — фоновый раствор.

почв и грунтов. В тех же климатических условиях в городах за счет увеличения водонепроницаемых территорий поверхностный сток увеличивается в 2—4 раза [Черногаева, 1978; Куприянов, 1978]. Даже в периоды слабых дождей поверхностный сток может являться существенным источником поступления веществ с территорий, загрязненных промышленными выбросами и отходами. Сток поливомоющих вод обеспечивает поступление химических элементов в сухие периоды года. В сельскохозяйственных районах интенсификации выноса различных веществ способствует распаханность территории. В отличие от сезонной динамики поступления вещества в рудные потоки рассеяния динамика поставки вещества в антропогенных условиях распределена крайне неравномерно на коротких интервалах времени (часы — сутки). Особенно это выражено вблизи источников загрязнения. По мере миграции вещества в потоке эта неравномерность сглаживается (рис. 2, 3). С удалением от источника загрязнения вниз по потоку происходит изменение соотношения растворенных и

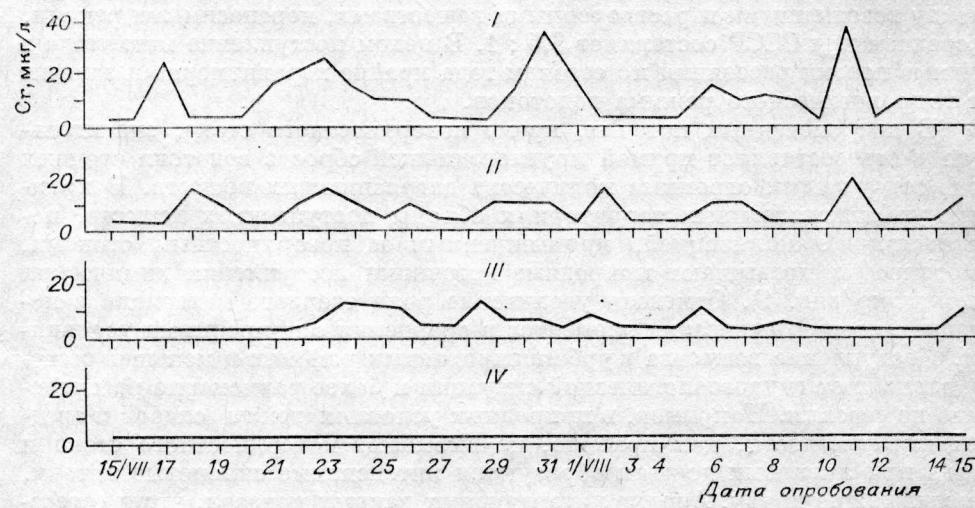


Рис. 3. Динамика распределения растворенного хрома в воде малой реки в зоне влияния промышленного центра и в фоновом водотоке.

I—IV — здесь и на рис. 4 створы: I — устье ручья, дренирующего промышленную зону; II — малая река, 2 км ниже устья ручья; III — малая река, 8 км ниже устья ручья; IV — фоновый водоток.

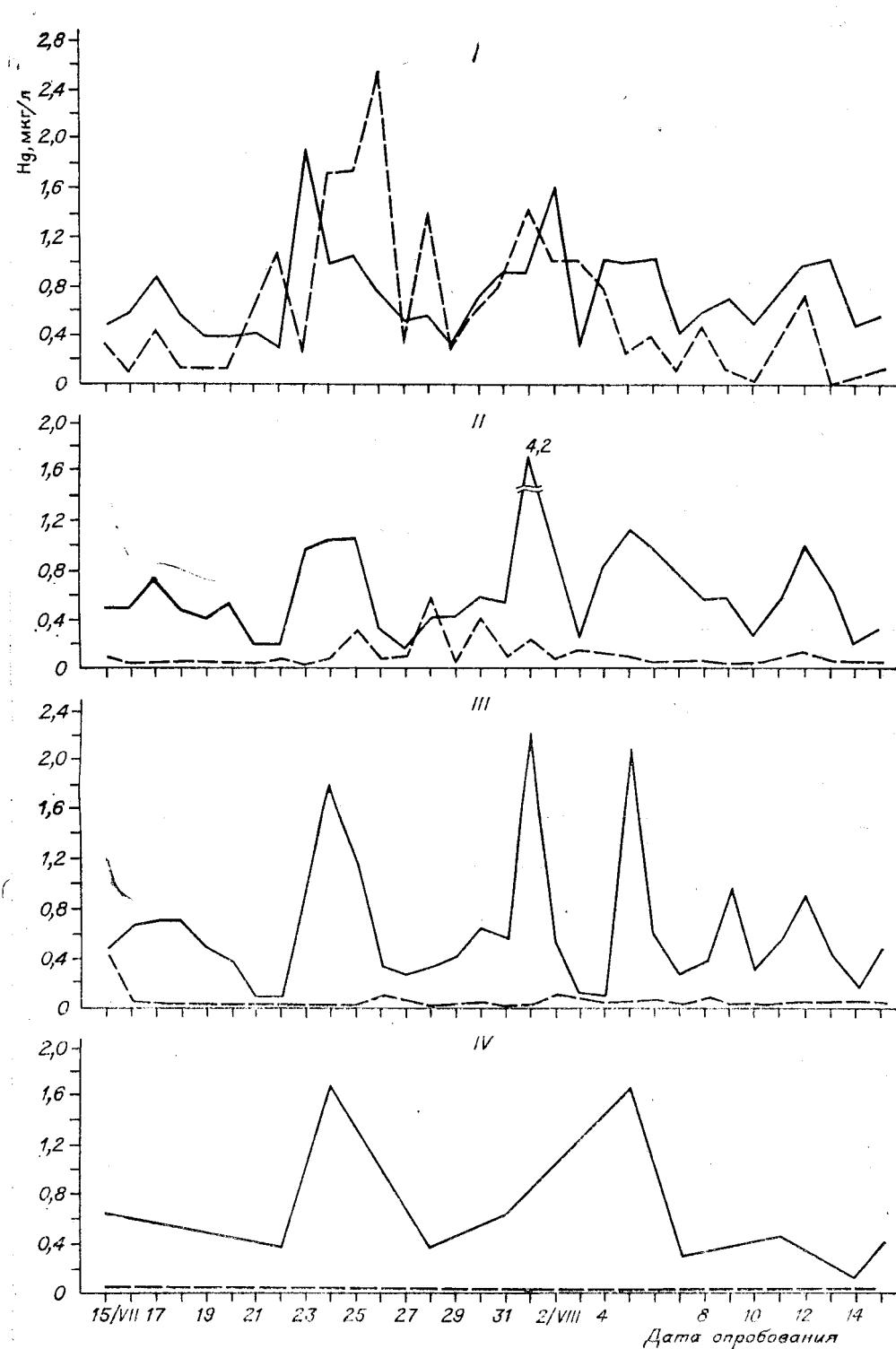


Рис. 4. Динамика распределения ртути в воде и взвешенном материале малой реки в зоне влияния крупного промышленного центра и в фоновом водотоке.

Сплошная линия — воднорастворенная ртуть, штриховая — ртуть во взвешенном материале.

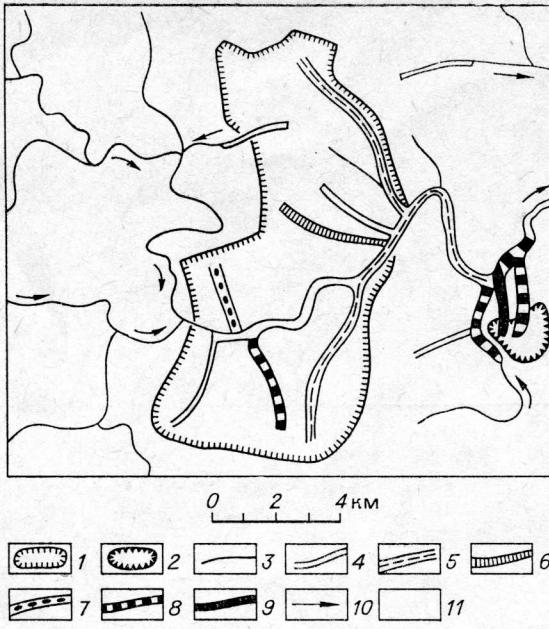


Рис. 5. Гидрохимическая схема промышленно-урбанизированного района.

1 — город; 2 — свалка бытовых и промышленных отходов; 3—9 — тип воды в водотоках: 3 — гидрокарбонатно-кальциевые воды с минерализацией до 500 мг/л, 4 — гидрокарбонатно-кальциевые воды с повышенной минерализацией (500—900 мг/л), 5 — гидрокарбонатно-натриево-кальциевые воды с повышенной минерализацией (500—900 мг/л), 6 — сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевые воды с повышенной минерализацией (500—900 мг/л), 7 — нитратно-кальциевые солоноватые воды (1000—1200 мг/л), 8 — хлоридно-натриевые солоноватые воды (1000—10 000 мг/л), 9 — хлоридно-натриево-калиевые солоноватые воды (1000—1100 мг/л); 10 — направление течения водотоков; 11 — сельскохозяйственные районы.

очень часто не фиксируются при разовой геохимической съемке.

Гидрохимический тип вод рудных потоков рассеяния обычно не отличается от типа вод данного природного района. Лишь около месторождений появляются азональные воды (сульфатные, например) с закономерным постепенным переходом в зональные воды при удалении от рудных тел. Для антропогенных потоков рассеяния отмечена резкая смена типов вод по площади. Для воднорастворенной части потоков характерно появление азональных и часто не имеющих аналогов в природе вод с повышенной минерализацией (нитратных кальциевых, сульфатно-гидрокарбонатных кальциевых, хлоридных натриево-калиевых и других с повышенным содержанием фосфора и восстановленных форм железа). Например, на сравнительно небольшом по площади участке с естественным гидрокарбонатным кальциевым фоном природных вод с минерализацией до 400—500 мг/л наблюдается соотношение различных типов вод с резкими площадными колебаниями минерализации — от 500—600 до 3000—10 000 мг/л (рис. 5).

В рудных потоках рассеяния ассоциации химических элементов хорошо коррелируют с минералого-геохимическими особенностями дренируемых месторождений. Концентрации элементов в потоках зависят от условий вскрытия оруденения эрозией. Качественный состав потоков в твердой фазе и растворенном состоянии выдерживается на значительных площадях в соответствии с металлогеническими особенностями территории. В антропогенных потоках рассеяния в донных отложениях характерны ассоциации элементов, не встречающиеся совместно или крайне редко объединяющиеся в рудных потоках рассеяния. В потоках рассеяния промышленных территорий часто ассоциируют цветные, редкие и рассеянные элементы, среди которых всегда и наиболее интенсивно концентрируются серебро, ртуть, кадмий и почти постоянно присутствуют свинец, никель, медь, цинк, олово, стронций, висмут, фосфор. Степень их концентрации $n \times 10 - n \times 100$ и более, что в среднем значительно превышает рудные потоки рассеяния. В потоках рассеяния сельскохозяйственных территорий обычно ассоциируют ртуть, медь, фосфор и обширная группа редких металлов (иттрий, иттербий, скандий, бериллий, цирконий, ниобий), иногда серебро, кобальт, молибден (см. таблицу). Даже в районах развития горнодобывающих предприятий, где качественный состав техногенных источников (отвалы, хвостохранилища) в принципе адекватен рудным, соотношение между элементами в рядах концентрации,

взвешенных форм химических элементов (рис. 4). Растворенные формы дают более протяженный поток, однако они крайне неравномерно распределены во времени и

геохимической съемке.

Ассоциации химических элементов в антропогенных рассеяниях в донных отложениях водотоков

Характеристика подоспорной территории	Число проб	Z_c	Ассоциации химических элементов					
			K_c более 100	K_c 100—30	K_c 30—10	K_c 10—3	K_c менее 3	
Очень крупная промышленно-сырьевая зона с разнообразной промышленностью: тяжелое машиностроение, металлообработка, кабельное и аккумуляторное производство	42	723	Hg ₃₄₇ —Ag ₁₅₉	Cd ₆₈ —Zn ₅₃	Ca ₂₈ —Ni ₂₄ —Pb ₂₂ —Sn ₁₆ —Sb ₁₄	V ₁₀ —W ₄ — —	Bi ₃ —Sr ₃ —Co ₂ —Be ₂ —Mo ₂ —Y ₂	
Крупная промышленно-сырьевая зона с электротехническими производствами	30	454	Cd ₃₀₀ —	Ag ₇₅ —	V ₂₁ —Zn ₁₉ —Pb ₁₂ —Hg ₁₂ —	Mo ₁₀ —Ni ₁₄ —Cu ₄ — —	W ₂ —Sn ₂	
Крупная промышленно-сырьевая зона с металлообрабатывающим и нефтеперерабатывающим производствами	32	109	—	Cu ₉₀	Ag ₁₈ —Pb ₁₅ — —	W ₉ —Mo ₅ —Sn ₄ —Cr ₄ —	—	
Научный центр физического направления	17	280	Ag ₁₉₉ —	Cd ₄₃ —	Hg ₁₆ — —	Bi ₆ —Cu ₆ —Z ₄ —P ₄ — —	Sn ₃ —Pb ₃ —Co ₂ —Ni ₂	
Небольшая промышленно-сырьевая зона с переработкой пластмасс	7	750	Hg ₅₃₃ —Ag ₁₀₇	Ni ₃₅ — —	Cd ₂₄ —Sr ₂₀ — —	Cu ₆ —Cr ₄ —Zn ₄ — —	Sn ₂ —Bi ₂ —Ba ₂ —Pb ₂	
Коксохимический комбинат	17	30	—	—	Hg ₁₅ — —	Zn ₆ —Mo ₄ — —	—Cu ₃ —Sr ₃ —Ni ₃ —Co ₂	
Промышленно-сырьевая зона с производством кирпича и огнеупорных изделий	15	902	Ag ₄₅₇ —Hg ₃₉₉	—	Cu ₁₇ — —	Cd ₈ —Zn ₈ —Bi ₆ —P ₄ — —Sr ₄ —Cr ₄	Be ₂ —Co ₂ —Pb ₂	
Свалка крупного города	18	532	Ag ₂₃₂ —Sr ₁₅₁	Cd ₆₅ —Ni ₅₆	Sb ₁₆ —Cu ₁₁ — —	Hg ₇ —Pb ₄ — —	P ₃ —Zn ₃ —Cr ₃ —Co ₂	

Окончание табл.

Характеристика подсборной территории	Число проб	Z _c	Ассоциации химических элементов						
			K _c более 100	K _c 100—30	K _c 30—10	K _c 10—3	K _c менее 3		
Жилой и промышленный район крупного города	7	33	—	—	Hg ₁₇ —Ag ₁₀ —	Pb ₄ —	Cu ₃ —Zn ₂ —Co ₂		
Поселок городского типа в сельскохозяйственном районе	8	18	—	—	—	—	Co ₃ —V ₂ —Bi ₂ —Ni ₂ —Zn ₂ —Pb ₂ —Y ₂ —Mn ₂		
Поселок сельского типа	15	10	—	—	—	—	P ₃ —Mo ₂ —Zn ₂ —Mn ₂ —Cu ₂ —Co ₂ —Y ₂ —V ₂		
Крупный свиноводческий комплекс	10	16	—	—	Ag ₁₂ —	—	Cd ₂ —P ₂ —Co ₂ —Cu ₂		
Крупный животноводческий комплекс и участки с полевым севооборотом	10	73	—	Hg ₃₇ —	—	Ag ₇ —Zn ₇ —Sn ₈ —P ₆ —Cu ₅ —Mo ₅	Ni ₃ —Sr ₂ —Pb ₂ —Y ₂ —Mn ₂		
Район интенсивного земледелия	20	17	—	—	—	P ₄ —Mn ₄	Ni ₃ —Co ₃ —Cu ₃ —Zn ₂ —Sn ₂ —Hg ₂ —Y ₂		
Район интенсивного земледелия	10	14	—	—	—	Hg ₅	Sn ₃ —Bi ₃ —Cr ₂ —Ni ₂ —Co ₂ —Mn ₂ —Y ₂		
Фоновая территория (мг/кг)	64	4	$\frac{Be}{1}$; $\frac{P}{100}$; $\frac{V}{75}$; $\frac{Cr}{52}$; $\frac{Mn}{635}$; $\frac{Co}{49}$; $\frac{Ni}{19}$; $\frac{Cu}{30}$; $\frac{Zn}{123}$; $\frac{Sr}{31}$; $\frac{Y}{18}$; $\frac{Mo}{0,83}$; $\frac{Ag}{0,02}$; $\frac{Cd}{0,3}$; $\frac{Sn}{0,02}$; $\frac{Sb}{1,8}$; $\frac{W}{0,07}$; $\frac{Pb}{4,7}$; $\frac{Hg}{0,01}$; $\frac{Bi}{29,1}$; $\frac{Bi}{0,25}$						

Примечание. Z_c — суммарный показатель загрязнения; K_c — коэффициент концентрации.

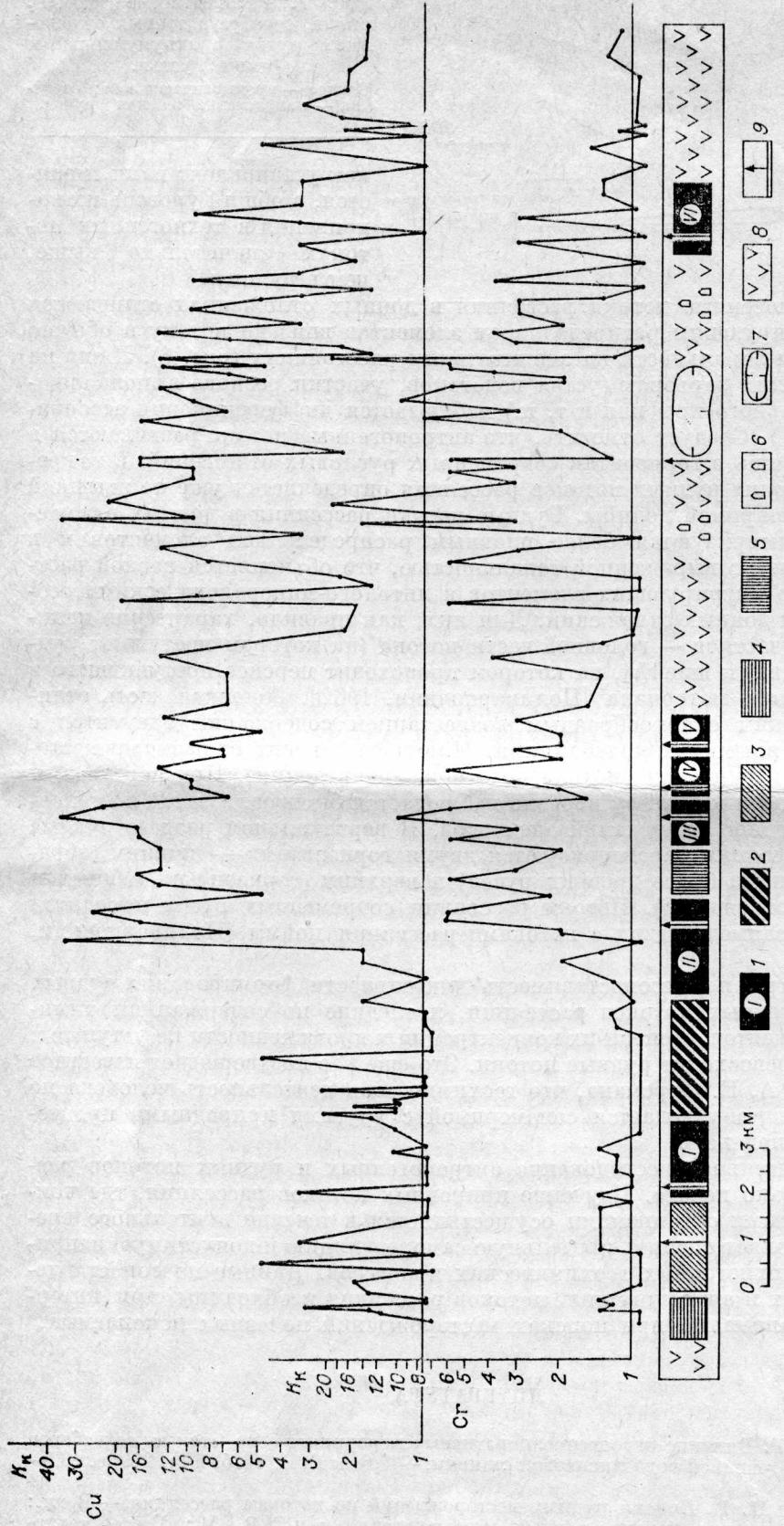


Рис. 6. Потоки рассеяния меди и хрома в донных отложениях малой реки в зоне влияния крупного промышленного центра.

1 — промышленные зоны; 2 — жилые районы города со старой застройкой; 3 — жилые районы города с новой застройкой; 4 — посетки городского типа; 5 — рекреационные зоны; 6 — сельские населенные пункты; 7 — свалка бытовых и промышленных отходов; 8 — сельскохозяйственные районы; 9 — места владения основных притоков в малую реку. Здесь и далее K_K — коэффициент концентрации относительно фонового содержания.

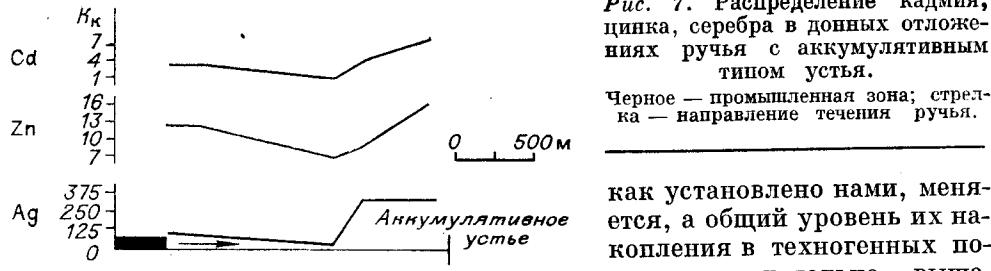


Рис. 7. Распределение кадмия, цинка, серебра в донных отложениях ручья с аккумулятивным типом устья.

Черное — промышленная зона; стрелка — направление течения ручья.

как установлено нами, меняется, а общий уровень их накопления в техногенных потоках значительно выше, чем в рудных.

Антропогенные потоки рассеяния в донных отложениях отличаются резко варьирующим распределением элементов вниз по потоку и обычно отсутствием зональности на значительных расстояниях (рис. 6). Лишь на геохимических барьерах (устья водотоков, участки резкого выплаживания продольного профиля и т. п.) наблюдается дифференциация ассоциаций (рис. 7). Следует отметить, что антропогенные потоки развиваются в основном лишь в горизонтах современных русловых отложений, в то время как ширина рудных потоков рассеяния определяется уже не шириной русла, но шириной долины. Рудные потоки рассеяния в донных отложениях характеризуются более плавным распределением элементов и в принципе четко выраженной зональностью, что объясняется разной растворимостью мигрирующих элементов и литологоминералогическими особенностями донных отложений. Для них, как правило, характерно наличие двух участков — головной части потока (на котором поступают рудные вещества) и шлейфа, на котором происходит перенос поступившего в поток рудного материала [Поликарпочкин, 1962]. Головная часть отличается резким скачкообразным возрастанием содержаний элементов с незакономерными их колебаниями. Длина ее зависит от размеров месторождения и положения потока по отношению к долине. При переходе от головной части к шлейфу нередко наблюдается быстрое, а затем постепенное уменьшение содержаний элементов. В вертикальном разрезе рудные потоки рассеяния характеризуются двумя горизонтами — нижним (образован осадками более древних русел) и верхним (горизонт пойменных и русловых отложений). Потоки рассеяния современных русел находятся в тесном взаимодействии с потоками рассеяния поймы [Поликарпочкин, 1962].

Несмотря на несопоставимость длительности формирования рудных и антропогенных потоков рассеяния, последние по содержаниям химических элементов, степени их концентрации и протяженности не уступают, но даже превосходят рудные потоки. Это еще раз подтверждает известное положение А. Е. Ферсмана, что геохимическая деятельность человека по своему масштабу делается соизмеримой с другими природными процессами в земной коре.

Сравнительное исследование антропогенных и рудных потоков рассеяния только начато. Изучение природных потоков рассеяния, где контакт с живыми организмами осуществляется в течение длительного времени, позволяет оценить предельную саморегуляцию и допустимую направленность техногенных геохимических процессов. Данные по сопоставлению рудных и антропогенных потоков рассеяния необходимы при интерпретации аномалий при поисках месторождений полезных ископаемых.

ЛИТЕРАТУРА

- Боженко В. Г. Влияние агролесомелиоративных мероприятий на сток с водосборов Нижнедевицкой водобалансовой станции. — Труды ГГИ, 1975, вып. 229, с. 162—168.
 Квашневская Н. В. Поиски рудных месторождений по потокам рассеяния. — В кн.: Геохимические поиски рудных месторождений в СССР. М.: Госгеолтехиздат, 1957, с. 146—157.

- Куприянов В. В.** Урбанизация и проблемы гидрологии.— В кн.: Гидрологические аспекты урбанизации. М.: изд. МФГО СССР, 1978, с. 5—15.
- Левинсон А.** Введение в поисковую геохимию. М.: Мир, 1976. 500 с.
- Лопатин Г. В.** Наносы рек СССР. М.: Географгиз, 1952. 368 с.
- Мрня Ф.** Геохимические поиски рудных месторождений методом донных осадков в Южной Чехии.— В кн.: Methods of geochemical prospecting. V. 1. Abstracts. Part II. Praha, 1979, с. 144—146.
- Поликарпочкин В. В.** Геохимические поиски рудных месторождений по потокам рассеяния.— Советская геология, 1962, № 4, с. 63—76.
- Поликарпочкин В. В.** Вторичные ореолы и потоки рассеяния. Новосибирск: Наука, 1976. 407 с.
- Прыткова М. В.** Сток наносов рек.— В кн.: Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 7. Л.: Гидрометеоиздат, 1973, с. 232—257.
- Филиппова Л. А., Григорян С. А.** Поиски по потокам рассеяния в районах горнорудной деятельности.— В кн.: Methods of geochemical prospecting. V. 1. Abstracts. Part II. Praha, 1979, с. 123—124.
- Хокс Х. Е., Уэбб Дж. С.** Геохимические методы поисков минеральных месторождений. М.: Мир, 1964, 488 с.
- Царев И. И.** Малые реки и водоемы Курской области. Воронеж, 1968, с. 21—27.
- Черногаева Г. М.** Водный баланс территории города и его влияние на окружающую среду.— В кн.: Гидрогеологические аспекты урбанизации. М.: изд. МФГО СССР, 1978, с. 15—20.
- Förstner U., Müller G.** Schwermetalle in Flüssen und Seen. Berlin, Heidelberg, New York: Springer, 1974. 225 S.
- Förstner U., Wittmann G. T. W.** Metal pollution in the Aquatic environment. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1979. 486 p.

А. А. ДЗЮБА
(СССР)

ЭВОЛЮЦИЯ ХАРАКТЕРНЫХ ОРЕОЛОВ РАССЕЯНИЯ СИБИРСКОЙ ПЛАТФОРМЫ

Осадочный чехол Сибирской платформы представлен преимущественно палеозоем, в разрезе которого преобладают водонепроницаемые породы с повышенной плотностью. Отсюда широко распространилось мнение о закрытости недр Сибирской платформы. Особенно большая изолирующая роль придается галогенным осадкам. Пласти каменной соли обычно рассматриваются как практически непроницаемые экраны, «запрещающие» образование вертикальных ореолов рассеяния над залежами полезных ископаемых. Только в последние годы на основании палеогидрогеологических реконструкций и изотопии рассолов показана относительность вялости гидродинамического режима платформы [Пиннекер, 1977; Дзюба, 1971, 1979].

Ценную информацию дает анализ трещинной тектоники. Наиболее выраженные тектонические нарушения прослеживаются вдоль горно-складчатых сооружений. Во внутреннем поле платформы наряду с внутрислойными дизъюнктивами широкое развитие получили разрывные нарушения без смещения крыльев. Примером является Марковское тектоническое нарушение на р. Лене (рис. 1). В пределах нарушения произошло существенное откатие и перераспределение соляных масс. Пласти соли утонены, разорваны. Перемяты и брекчированы межсолевые карбонаты.

Наличие гигантских зон разрыва сплошности пластов каменной соли позволяет предполагать существование менее выраженных, эмбриональных нарушений, по которым происходит восходящее движение флюидов, в том числе формирование вертикальных ореолов рассеяния. Однако максимум раскрытия недр предопределется магматической деятельностью. Нагнетание высокотемпературного расплава, прорывы осадочного чехла эффективным материалом приводили к активизации гидродинамики.

Эволюция ореолов рассеяния обуславливается многими факторами. Сопоставим важнейшие этапы палеогидрогеологической истории характерных районов Сибирской платформы.