

Пролетарии всех стран, соединяйтесь!

СОВЕТСКАЯ 10 / 1988 ГЕОЛОГИЯ

**Ежемесячный научный журнал
Министерства геологии СССР
Основан в марте 1933 года**

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор А. И. КРИВЦОВ

Т. В. Билибина, Э. К. Буренков, В. С. Быкадоров, Н. И. Ведерников, М. В. Голицын, И. С. Грамберг, М. Н. Денисов, А. Н. Еремеев, В. А. Ерхов, А. И. Жамойда (зам. главного редактора), А. И. Зарицкий, А. Н. Золотов, А. Б. Каждан, Е. А. Козлов, Н. Э. Краснова (отв. секретарь), Л. И. Красный, А. И. Лисицын, Н. В. Межеловский, И. М. Мирчинк, Б. Н. Можяев, Д. И. Мусатов, С. С. Мухин (зам. главного редактора), В. Д. Наливкин, В. А. Нарсеев, Л. Н. Овчинников, В. Н. Полуэктов, Н. Н. Предтеченский, Д. А. Родионов, Е. И. Семенов, В. В. Семенович, Л. Н. Смирнов, В. С. Сурков, К. И. Сычев, М. А. Фаворская, А. С. Филько, А. З. Юлдашев, А. А. Шпак, А. Д. Щеглов, В. А. Ярмолюк



МОСКВА, «НЕДРА»

лее того, региональный гидродинамический анализ показывает, что напоры подземных вод продуктивного на минеральные воды альб-аптского гидрогеологического комплекса на месторождениях превышают таковые в интрузивных отложениях сводовой открытой части Бештаугорского батолита (по скв. 113 их абсолютная отметка всего 728,4 м, что на 102,9 м ниже, чем по разведочной скважине 1-Беш).

Таким образом, можно предложить, что разломные ограничения центральной части Бештаугорской гидрогеологической структуры слабофлюидопроницаемы и имеют четко выраженную барражирующую роль для инъектируемых углекислых вод. В результате основная разгрузка углекислых минеральных вод в общем балансе Бештаугорской инъекционной структуры осуществляется путем субпластовой инъекции в гидрогеологический комплекс альб-аптских отложений (см. рис. 1), площадь которых оценивается в 15—20 км² к востоку и западу от Бештау.

Открытые и предварительно разведанные месторождения углекислых минеральных вод, приуроченные к

лакколиту, позволяют не только расширить гидроминеральную базу действующих курортов КМВ, но и создать новые.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Вартанян Г. С.* Поиски и разведка минеральных вод для лечебных целей//Основы гидрогеологии. Новосибирск, 1984. С. 113—116.
2. *Вартанян Г. С., Колмогорова Л. Г.* Пространственная модель Кисловодского месторождения углекислых минеральных вод по данным глубинного опробования//Тр. ВСЕГИНГЕО. 1978. Вып. 124. С. 33—39.
3. *Елманова Н. М., Арбузов В. А.* Радиактивные воды//Тр. ЦНИИКиФ. 1981. С. 65—68.
4. *Карасева А. П.* Углекислые воды. Там же. С. 37—38.
5. *О региональном опреснении водоносного комплекса апт-альбских отложений и его роли в формировании минеральных вод Большого района КМВ/А. Б. Островский, В. Л. Августинский, Г. С. Вартанян, В. Н. Динабург//Тез. Докл. V конф. по геологии и полезным ископаемым Северного Кавказа. Ессентуки, 1980. Кн. II. С. 473—474.*
6. *Самарина В. С.* Гидрогеохимия.— Л.: ЛГУ. 1977.
7. *Щербак В. П., Берри И. Б.* Краткая характеристика газов, содержащихся в подземных водах//Изучение газов минеральных вод. М., 1983. С. 14—16.

УДК 556.535.8

Е. П. ЯНИН (ИМГРЭ)

Техногенные потоки рассеяния химических элементов в донных отложениях поверхностных водотоков

Многочисленные исследования указывают на ведущую роль донных отложений в потоках загрязнения водных систем химическими элементами [2, 4, 5]. Являясь конечным звеном ландшафтно-геохимических сопряжений, они как бы интегрируют геохимические особенности водосборной площади. Это позволяет выделить по их химическому составу техногенные потоки и оценить степень техногенной нагрузки на водоток.

Изучение донных отложений важно само по себе, так как существует сублетальная токсичность загрязненных металлами донных отложений для водных организмов, а результаты натуральных и экспериментальных наблюдений указывают на возможность перехода загрязняющих веществ в водную фазу. При этом в случае интенсивного загрязнения время их отрицательного воздействия может быть очень велико даже при прекращении сброса сточных вод. Вывод химического элемента из водной фазы свидетельствует лишь о временном «самоочищении» водной массы, но не вод-

ного объекта как экологической системы в целом. При изучении техногенных потоков рассеяния в донных отложениях водотоков принципиальное значение имеет прежде всего выяснение их состава, морфологических особенностей и форм нахождения химических элементов.

Фактическим материалом для данной статьи послужили результаты геохимических исследований донных отложений водотоков в пределах бассейна типичной равнинной малой реки (площадь водосбора около 1700 км²), отличающегося достаточно однородным ландшафтным строением. Район работ характеризуется высокой степенью антропогенного освоения (сочетание промышленных центров с сельскохозяйственными местностями). Основные методические принципы заключались в геохимическом картировании донных отложений и выявлении литохимических потоков рассеяния, что позволило получить пространственную картину загрязнения водотоков и дифференцировать источники загрязнения по-

типам и уровням воздействия [1]. На участках потоков рассеяния анализировалось распределение аномалий химических элементов в донных отложениях по площади русла. Изучен минеральный, гранулометрический и валовый химический составы загрязненных и фоновых отложений. Для большой группы элементов исследовались их распределения в гранулометрическом спектре донных отложений. Для никеля, меди, кадмия и свинца изучены химические формы нахождения в отложениях.

На этапе геохимического картирования пробы донных отложений анализировались приближенно-количественным спектральным методом на широкий круг элементов; при площадной съемке русла и в гранулометрических фракциях — количественным спектральным. Ртуть определялась атомно-абсорбционным методом, мышьяк, сурьма, фтор — спектральным, селен — флуориметрическим. Для изучения форм нахождения использовался фазовый химический анализ по разработанной ранее схеме [3]. Гранулометрический, минералогический и валовый химический анализы выполнялись по стандартным методикам. Отделение иловых вод осуществлялось центрифугированием. Макрокомпоненты определялись по стандартным методикам, микроэлементы — количественным спектральным из сухого остатка или атомно-абсорбционным методами. Все химико-аналитические исследования выполнялись в лабораториях ИМГРЭ или его экспедиций.

Общий геохимический анализ состава техногенных потоков рассеяния. В водотоках в зонах загрязнения отмечаются своеобразные донные отложения — техногенные илы, служащие основой развития техногенных потоков рассеяния химических элементов. Они характеризуются тонкодисперсным составом, повышенной пластичностью, иногда желеобразной консистенцией, маслянистостью, специфическим запахом, окраской темных тонов.

Участки русла с подобными илами (мощностью до нескольких метров) могут проследиваться на десятки километров даже в средних и крупных реках и выстилать значительные части современного русла рек. В гранулометрическом составе донных отложений зон загрязнения в сравнении с фоновыми условиями заметно преобладают фракции алеврита и глинистых частиц. Изменения в минеральном составе проявились в уменьшении количества кварца и увеличении содержаний карбонатных минералов, лимонитизированных обломков и гидроксидов железа. Техногенные илы более обогащены органическим веществом, карбонатами, оксидами и гидроксидами алюминия и железа. Для них характерно присутствие значительных количеств различных органических загрязняющих веществ, прежде всего нефтепродуктов и полихлорированных бифенилов.

В табл. 1 приведены значения коэффициентов концентрации химических элементов в донных отложениях водотоков, дренирующих различные типы населенных пунктов и промышленных предприятий. Это позволяет установить и сравнить формирующиеся здесь техногенные геохимические ассоциации. Как видим, техногенные потоки рассеяния в городах отличаются широким комплексом химических эле-

ментов с очень высокими концентрациями многих из них. Качественный анализ рассматриваемых ассоциаций в целом незначительно выявляет специфику отдельных производств, промышленных зон или городов, поскольку обширная группа микроэлементов характерна для большинства изученных объектов. В то же время, несмотря на видимую качественную близость состава, количественные соотношения целого ряда элементов как внутри ассоциации, так и по отношению к ассоциациям других источников загрязнения заметно различны. В результате аномалия каждого конкретного источника загрязнения имеет специфический геохимический облик. Это присуще даже аномалиям однотипных видов производств. Более того, в некоторых производствах или промышленных зонах появляются в ассоциациях специфические химические элементы.

Главная особенность техногенных аномалий в донных отложениях — преимущественное концентрирование халькофильных элементов (ртути, серебра, кадмия, свинца и др.). Коэффициенты концентрации этих элементов достигают $n \cdot 10^2$. Как правило, ртуть, серебро и кадмий — это типоморфные элементы большинства техногенных ассоциаций в донных отложениях. Очень часто именно их степени концентрации и создают специфичность техногенной ассоциации, связанной с конкретным источником загрязнения вод.

Таким образом, специфичность определенного типа производства, промышленной зоны или города в целом как источника загрязнения водных систем может проявляться и качественно (наличие в ассоциации характерных лишь для них химических элементов) и в различных уровнях накопления элементов (геохимической контрастности). Обычно крупные многофункциональные промышленные зоны или города отличаются наиболее комплексными и контрастными аномалиями химических элементов в донных отложениях водотоков. Качественные и количественные параметры загрязнения водотоков всецело определяются производственной структурой городов, в меньшей степени их размерами.

Пространственные особенности потоков рассеяния. Рассмотрим типичный урбанизированный ландшафт — средний город с многопрофильным производством и связанной с ним свалкой бытовых и промышленных отходов.

Особенность пространственного распределения химических элементов в потоках рассеяния, фиксируемых донными отложениями, — значительная вариация их концентраций вдоль продольного профиля вниз по течению реки. Наиболее контрастно она проявляется для типоморфных элементов потоков. В то же время в структуре потока четко выделяется несколько участков с характерным лишь для них распределением химических элементов, что связано либо с типом техногенного воздействия, либо с геоморфологическим строением русла реки (рисунок, табл. 2).

Так, в пределах жилого района города (участок 1) формирование потоков рассеяния связано с влиянием поверхностного стока с его территории и сточных вод отдельных предприятий (металлообработка и среднее машиностроение), поступающих в реку по системе ручьев. В пределах промышленного райо-

Техногенные ассоциации химических элементов в донных отложениях водотоков для различных коэффициентов концентрации относительно фона

Населенный пункт	Основные виды производств	Более 100	100—30	30—10	10—3	3—1,5
Города с населением более 100 тыс. человек	Тяжелое машиностроение, металлообработка, кабельная, аккумуляторная, строительная и другие Металлообработка, химическая, текстильная, электронная и другие	Hg Ag Ag Hg	Cd In Bi Zn Co Ni P	Cu Ni Pb Sn Sb Se Cd Sn Cr	V Zn Cr Nb P W Bi Sr Ba Ti Sr Pb Ba Co	Co Be Mo Sc Yb As W Mo V Mn As
Города с населением 30—100 тыс. человек	Металлообработка, машиностроение, строительная Экскаваторный завод Коксохимический комбинат Строительная Химическая		Ag Hg Ag Hg	Cd Ce Pb Hg Hg Cd Cu	Zn Hg Sb Sn Pb Se Ag Sr Ba Zn Mo Cu Sr Ni Bi Sr Cu Zn Sc Sn Zn Sr Sn Pb P	P Cu Sc Sr Zr Ti Co Bi Ni Ba B Cu Zn Mo Mn P Ag Co Nb Sc Li P Ba Pb Se Zr P Bi Cr Co Mo Ba
Города с населением до 30 тыс. человек	Ткацкая фабрика Химическое производство Грампластик Научный центр физического направления Научный центр радиотехнического направления	Hg Ag Ag Ag	Hg Ag Ni Cd Bi Hg	Bi Cd Sr Hg P	Cu W Ba Pb Zn Sn Zn Pb Bi Cu Zn P Sn Pb Zn Cu Cr Se Cd	P Sr Mo Co V Cr Ni Sn Cr Bi Sr Co Ni Sc Cr Ba Y Sn Nb Ni Co Ti
Поселки городского типа	Производство пластмасс Вторичная переработка цветных металлов Керамико-плиточный завод	Hg Ag	Pb Bi Hf	Hg Cu Zn B Hg	Sn Ag Sc Cr P Pb Mo Sb Sn Ba Cd Zn Zr Sr Ba Pb Cu	Ti Co Nb Cu V Sr Ba Co Cr Sr As Ag Co Se As
Свалка бытовых и промышленных отходов		Ag Sn	Cd Ni	Sb Cu	Hg Pb P Zn Cr	Co Sc Zr Ba As Se

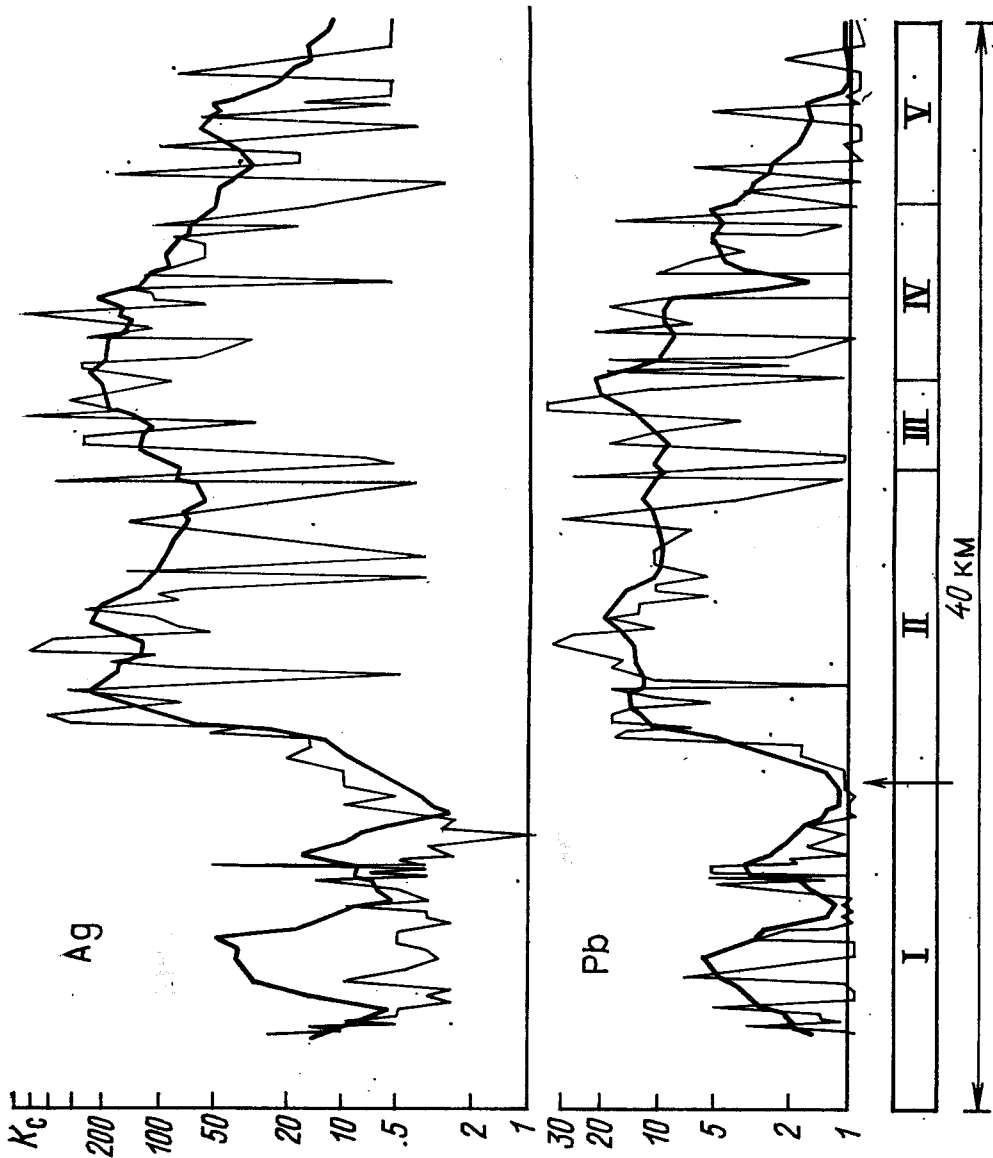


Таблица 2

Химические элементы в донных отложениях малой реки в зоне влияния города

Элемент	I		II		III		IV		V	
	K_c	K_v	K_c	K_v	K_c	K_v	K_c	K_v	K_c	K_v
Ртуть	76	510	29	91	58	67	22	116	3,5	298
Серебро	13	199	138	93	256	73	113	94	27	150
Олово	3	140	7	84	18	103	43	302	5	145
Свинец	2,7	136	12	15	22	74	6	114	1,5	130
Медь	2,6	224	11	66	19	59	8	62	5	210
Стронций	1,9	61	1,9	39	1,8	52	1,5	28	1,2	22
Цинк	1,8	130	4,6	57	5,2	65	2,6	77	2	154
Никель	1,8	95	8	67	49	87	15	103	2,4	69
Кобальт	1,7	48	1,9	33	1,7	35	1,8	20	1,6	34
Ванадий	1,2	53	1,3	39	1,4	32	1,1	46	1	67
Хром	1	46	3,2	67	10	85	6,3	181	1,3	68
Молибден	1	62	1,7	175	1,4	70	1	46	0,9	50
Кадмий	—	—	28	106	786	125	111	181	12	179
Индий	—	—	20	101	—	—	—	—	—	—

Примечание. K_c — коэффициент концентрации относительно фона; K_v — коэффициент вариации, %; I—V — участки техногенного потока рассеяния, см. рисунок.

на города (тяжелое машиностроение, металлообработка, аккумуляторное, кабельное, химико-металлургическое и другие виды производств) осуществляется сброс основных объемов промышленных и бытовых сточных вод города (участок II). Участок III представляет собой геохимический барьер, обусловленный геоморфологическим строением русла: резкое выполаживание продольного профиля, наличие островов и затонов, интенсивное развитие водной растительности, заметное сужение русла реки, что создает определенный подпор речных вод, т. е. условиями, способствующими аккумуляции переносимых рекой взвешенных и донных отложений. В районе влияния свалки отходов (участок IV) химические элементы дополнительно поступают с поверхностным стоком с ее территории, а также при разгрузке загрязненных грунтовых вод. Распределение химических элементов в периферийной части потока (участок V) связано с разбуживанием техногенного материала природным и с естественным затуханием аномалий.

Потоки рассеяния в пределах жилой части города характеризуются сравнительно невысокими содержаниями элементов и отчетливой вариацией их распределения (см. табл. 2, рисунок). В то же время, в отдельных точках потока фиксируются контрастные локальные аномалии ртути (K_c до 2200), серебра (до 150), олова (до 20), но в целом протяженность аномалий невелика (до 4—5 км).

Промышленный район города отличается резким увеличением содержаний многих элементов (см. рисунок, табл. 2). Именно здесь

отмечаются контрастные аномалии кадмия и индия — типоморфных элементов для данной зоны. Наиболее интенсивные аномалии образуют серебро, ртуть и кадмий (K_c до $n \cdot 10^2$), а также свинец, никель, олово, медь, индий. Таким образом, основной сток города фиксируется контрастным потоком рассеяния специфической ассоциации химических элементов, включающей и высокотоксичные. Если в пределах жилой зоны содержания элементов даже в соседних точках варьировали от высокоаномальных до фоновых, то здесь их аномалии очень стабильны и высоки (см. рисунок), что отражается в уменьшении их коэффициентов вариации (см. табл. 2).

Следующий участок реки, являющийся геохимическим барьером, отличается максимальным накоплением практически всех элементов, но прежде всего кадмия, серебра, ртути и олова (см. табл. 2 и рисунок). Характерная особенность данного участка потока — нарушение наблюдаемых ранее корреляционных связей между типоморфными элементами.

В пределах четвертого участка на поток рассеяния города как бы накладывается воздействие свалки отходов. Это выражается в варьировании и очень высоких концентрациях многих элементов и особенно кадмия, олова, серебра, никеля, хрома (см. табл. 2 и рисунок). Контрастные аномалии олова возможно обусловлены захоронением в прошлом (около 30—40 лет назад) отходов с завода по его переработке. Непосредственно ниже свалки графики распределения остаются относительно варьированными, а для всех элементов четко прояв-

Распределение серебра и свинца в донных отложениях малой реки:

K_c — коэффициент концентрации относительно фона; тонкая линия — фактическое распределение элемен-

тов; жирная линия — распределение осредненное; I—V — участки техногенного потока рассеяния; стрелкой показано место сброса основных объемов сточных вод

Таблица 3

Интенсивность накопления химических элементов на геохимическом барьере в зоне влияния города

Элемент	K_c			Степень увеличения K_c на барьере
	До барьера, верховье ручья	На барьере, устье ручья	После барьера, река	
Ртуть	6	60	1,5	10
Кадмий	19	190	1	10
Серебро	150	600	25	4
Висмут	5,4	13	1	2,4
Олово	2,5	7	1,2	2,8
Медь	5	13	2	2,6
Цинк	3	11	1,8	3,6
Стронций	2,5	4	1,5	1,6

лена тенденция к снижению их содержаний.

Общая протяженность изученного потока рассеяния составляет около 40 км, но до конца он, в сущности, не прослежен. Несмотря на участки с характерным для них распределением элементов, видимой дифференциации не происходит. Различия наблюдаются лишь в уровнях накопления и амплитудах колебания. В целом вся аномальная ассоциация мигрирует синхронно с хорошей степенью согласованности, которая локально нарушается на геохимических барьерах и в зонах поступления дополнительных потоков от других источников загрязнения. Особенно сильно корреляция проявляется вблизи основного источника, а по мере удаления от него она нарушается. Видимо, на периферии потока возрастает роль вторичного переотложения речного материала, приводящая к возрастанию неоднородности распределения элементов в донных отложениях.

Как следует из приводимого материала, характерные черты пространственного строения потоков рассеяния во многом зависят от геоморфологических особенностей долины и русла. Так, прослеживается связь техногенных аномалий с условиями аккумуляции осадочного материала. В частности, отмечается накопление химических элементов во внутрипойменных водоемах на предполагаемых геохимических барьерах. Вероятно, такие же барьеры образуются в устьевых участках многих притоков главной реки. Отличительная черта

строения этих участков — аккумулятивные островки, образующие своеобразную аккумулятивную дельту. Для определенной группы водотоков типичны трубообразные дельты, выстланные грубозернистыми отложениями. В них наблюдается резкое уменьшение концентраций практически всех элементов. Обычно продольные профили ручьев, выходящие на высокую пойму реки, резко выполаживаются. Это приводит к изменению гидродинамических параметров водотоков и отражается на формировании в устьевых участках геохимических барьеров (табл. 3). Таким образом, особенности геоморфологического строения устьевых участков притоков определяют интенсивность перехода загрязняющих веществ в водотоки более высокого порядка.

Распределение элементов в потоке рассеяния может резко меняться при прохождении озеровидных расширений или прудов, созданных на реках. Как правило, такие водоемы служат перехватчиками существенной части взвешенного материала, что отражается на пространственной дифференциации техногенных ассоциаций (табл. 4). В то же время такой тип геохимического барьера может быть и вторичным источником поступления загрязняющих веществ в водную фазу.

По приведенным выше фактическим данным (как и в литературе) потоки рассеяния химических элементов представлены в виде линейных объектов. В действительности же они обладают реальной шириной и мощностью.

Таблица 4

Воздействие прудов на пространственную дифференциацию ассоциаций химических элементов в донных отложениях водотока для различных значений K_c в зоне влияния химического завода

Участок ниже завода	Более 100	100—30	30—10	10—3	3—1,5
До прудов	Hg ₄₉₃	Ag ₉₄ Ni ₃₂	Cd ₂₀ Sr ₁₈	Zn ₉ Cu ₈ Cr ₄	Pb Sn
Первый пруд	—	Hg ₅₂ Ag ₅₀ Ni ₄₂	Cu ₁₇ Cr ₁₇ Sr ₁₁	Pb ₄ Cd _{3,1}	Zn Sn
Второй пруд	—	—	—	Cd ₅ Ag ₄ Hg _{3,1}	Sr Ni
После прудов	—	—	Hg ₁₁	Ni ₆ Ag ₅ Sr _{4,5}	Cu Zn Cr

Таблица 5

Распределение химических элементов в различных гранулометрических фракциях (мм)
техногенных илов

Элемент	1—0,25		0,25—0,1		0,1—0,01		0,01—0,005		Менее 0,005	
	X	K _c	X	K _c	X	K _c	X	K _c	X	K _c
Титан	305	1	663	2,7	2617	1,9	3414	1,5	4671	2
Ванадий	28	2,8	24	1,7	45	1,5	70	1,2	116	1,3
Хром	108	6,8	110	37	350	6	429	5,1	449	7,5
Никель	86	2,8	97	7,5	154	6,2	274	7	353	7,5
Цинк	218	1,8	321	2,8	422	3,5	511	2,1	570	2,6
Серебро	2	3	1,6	4	3,7	8	4,7	6,7	4,6	5,8
Олово	68	23	58	18	143	24	256	13,5	261	8,2
Ртуть	0,083	83	0,04	40	0,26	5,2	0,22	1,1	0,22	1,1
Свинец	182	6,5	212	16,3	431	19,6	761	23	914	15,8

Примечание. X — среднее содержание, мг/кг; K_c — коэффициент концентрации относительно содержания в конкретных фракциях фоновых донных отложений.

Изучение формы потоков рассеяния имеет большое методическое и практическое значение, поскольку позволяет детализировать процессы их формирования в руслах водотоков, реально оценить общий уровень загрязнения реки и ее отдельных участков, получить материал, необходимый для прогнозирования развития потока загрязняющих веществ в водотоках; важен этот материал и для организации отбора проб.

Как известно, русло равнинных рек представляет собой сложно построенный комплекс разнообразных форм рельефа, структурно-морфологические особенности которого определяются гидродинамическими параметрами водотока и литологией руслоформирующих отложений. Поэтому течение рек, а также осаждение мигрирующих с водной массой химических элементов, никогда не бывает равномерным и носит неустановившийся характер. Кроме того, в процессе перемещения наносов речной поток непрерывно обменивается твердыми частицами с дном. Все это способствует дифференциации речного аллювия и связанных с ним химических элементов по площади русла.

Натурные исследования распределения широкой группы химических элементов в руслах загрязненных рек полностью подтвердили выказанные соображения. Так, установлено, что площадная структура техногенных аномалий всецело определяется литолого-геоморфологическими особенностями строения русла. Места наиболее интенсивной аккумуляции илистых отложений отличаются повышенными содержаниями химических элементов, являющихся индикаторами загрязнения. Это обуславливает отчетливую мозаичность аномалий в плане, которая выражается в чередовании участков русла с различной степенью аномальности. Значительное влияние на пространственную структуру потоков рассеяния могут оказывать гидротехнические сооружения. Например, ранее существовавшая на реке плотина привела к явному разделению потока на две зоны: первая — до бывшей плотины — отличается более

широким распространением аномальных участков по руслу; вторая — ниже плотины — преобладанием участков с фоновым содержанием элементов.

Таким образом, потоки рассеяния в донных отложениях рек в условиях загрязнения имеют значительные размеры и высокие содержания широкой группы химических элементов с резко варьирующим распределением по профилю. По интенсивности аномалий и характеру изменения концентраций в строении потоков четко устанавливается связь особенностей размещения источников загрязнения и геоморфологического строения русла. Все это в совокупности с существующей в реках естественной дифференциацией и накоплением речного материала в русле, осложняющейся воздействием гидротехнических сооружений, приводит к ярко выраженной мозаичности техногенных аномалий в плане.

Формы нахождения химических элементов в техногенных илах. Литературные данные свидетельствуют о возможности перехода загрязняющих веществ из донных отложений в водную массу и биоту. Как известно, высокая динамичность состава природных вод во многом определяется процессами, регулируемыми скоростью движения веществ через границу вода — донные отложения. Для их реальной оценки необходимо прежде всего изучение форм нахождения элементов в донных осадках, а также состава иловых и придонных вод. К сожалению, подобных исследований немного, что связано с отсутствием общей методики и большой трудоемкостью работ. Наибольший интерес представляет анализ распределения химических элементов в гранулометрическом спектре донных отложений и их физико-химических форм нахождения.

Полученные нами результаты выявляют некоторые особенности распределения элементов по гранулометрическим фракциям техногенных илов в сравнении с фоновыми донными отложениями (табл. 5). Техногенные аномалии образовались за счет увеличения концентраций практически во всех выделенных фракциях от-

Таблица 6

Формы нахождения химических элементов в техногенных илах

Элемент	Участок реки	Сорбционно-карбонатная		Органическая		Гидроксидная		Кристаллическая	
		X	A	X	A	X	A	X	A
Кадмий	I	0,086	28	0,13	43	0,043	14	0,043	14
	II	7,83	89	0,22	2,5	0,16	1,8	0,5	5,7
	V	0,082	17	0,26	50	0,082	17	0,082	17
Медь	I	11,02	27	19,29	48	4,36	11	5,32	13,3
	II	56,77	15,5	154,34	47	119,64	33	33,24	9,6
	V	19,72	68	6,69	22	2,27	7,6	1,32	4
Никель	I	10,31	43	5,14	21	3,06	13	5,49	23
	II	51,55	49	13,67	13	23,65	22	17,14	16
	V	4,92	43	2,18	19	1,84	16	2,57	22
Свинец	I	4,55	14	1,13	3,4	11,40	34	15,92	48
	II	79,22	41	5,20	2	73,82	38	28,45	18
	V	11,64	58	0,76	3,8	4,56	23	3,04	15

Примечание. X — среднее содержание, мг/кг; A — доля фракции от валового содержания, %.

ложений. Почти для всех изученных элементов характерно возрастание их абсолютных содержаний от фракции крупного песка к глинистым частицам, с достижением максимума в самой тонкой (менее 0,005 мм). В пространственном отношении наиболее протяженные аномалии фиксируются во фракциях физической глины (менее 0,01 мм), а для ртути и олова — во фракциях песка. Для всех изученных элементов основным носителем служит фракция алеврита (0,1—0,01 мм), — до 50—70 % валового содержания. Это обуславливается высокой долей данной фракции в отложениях (в среднем до 30—40 %) и сравнительно высокими абсолютными концентрациями элементов в ней. Распределение запасов элементов, связанных с конкретными фракциями, вниз по потоку в целом довольно однородное. Но на геоморфологических барьерах отмечается увеличение в балансе доли более крупных фракций.

Изучение физико-химических форм нахождения химических элементов показало, что в условиях загрязнения в сравнении с фоном большая часть их содержаний (при резком увеличении валовых концентраций) связана с легкоподвижными формами (табл. 6) — сорбционно-карбонатной, органической и гидроксидной. Никель и свинец находятся преимущественно в сорбционно-карбонатной и гидроксидной формах. Медь наиболее активно закрепляется в органической форме. Для кадмия преобладающее значение имеет сорбционно-карбонатная форма. При удалении от источника загрязне-

ния отмечаются изменения в соотношении форм нахождения элементов в общем их балансе. Например, для меди и свинца наблюдается в целом постепенное увеличение доли сорбционно-карбонатных форм. Кадмий вблизи источника фиксировался в основном в сорбционно-карбонатной форме (до 80—90 %), в краевой части потока до 50 % его связано с органической формой.

На основе имеющегося материала можно заключить, что по мере пространственного развития потока наблюдается возрастание роли легкоподвижных форм химических элементов. Это свидетельствует об увеличении сорбционных механизмов формирования потоков рассеяния в донных отложениях фланговых участков зон загрязнения, в то время как в головной части потока преобладает механическое осаждение первичных форм, образовавшихся при производственных технологических процессах. Кроме того, существующая пространственная дифференциация форм нахождения определяет различную дальность миграции форм, а также указывает на трансформацию их в самом донном осадке. Последнее, вероятно, наиболее сильно проявлено для кадмия.

Данные по формам нахождения химических элементов в техногенных илах позволяют наметить группы геохимических процессов, способствующих переводу этих элементов в водную фазу. Это — увеличение минерализации природных вод (процессы десорбции и ионного обмена), понижение pH (растворение карбо-

натов), деятельность микроорганизмов (разложение органических веществ и железо-марганцевых оксидов), появление в водах природных и синтетических комплексобразователей, процессы взмучивания и перетолжения материала, деятельность гидробионтов.

Таким образом, в загрязненных донных отложениях химические элементы находятся в основном в геохимически подвижных формах, способных к взаимодействию с водной фазой и живыми организмами. Многие авторы между этой частью химических элементов и содержанием их в воде устанавливали прямые корреляционные связи. В иловых водах интенсивно накапливаются компоненты, активно участвующие в формировании качества воды. Проведенные нами исследования показали, что в иловых водах загрязненных водотоков (по сравнению с водами основного водного потока) резко увеличены содержания многих компонентов. Процессы, связанные с реально существующими природными и техногенными явлениями, при определенных условиях будут приводить к выводу загрязняющих веществ из иловых вод и донных отложений в поверхностные воды.

В заключение отметим, что параметры и морфология зон воздействия источников загрязнения наиболее полно фиксируются в донных отложениях (техногенных илах) водотоков. В них формируются полиэлементные аномалии, отличающиеся высокой корреляцией пространственного распределения химических элементов и преобладанием подвижных форм нахождения. Морфологические особенности потоков рассеяния связаны с русловой дифференциацией аллювия, что определяет неоднородную структуру аномалий в водотоке.

Геохимическое изучение техногенных потоков рассеяния в донных отложениях водотоков позволяет выделить источники загрязнения водных систем (или их группы), оконтурить зоны их воздействия, установить ассоциацию накапливающихся химических элементов в этих зонах и формы их нахождения. Такие материалы дают возможность разработать практические рекомендации по комплексу мероприятий, предупреждающих загрязнение природных вод или ликвидирующих (уменьшающих) вредные последствия уже возникшего загрязнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Методические* рекомендации по геохимической оценке загрязнения поверхностных водотоков химическими элементами.— М.: ИМГРЭ, 1982.
2. Мур Дж., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах: контроль и оценка влияния.— М.: Мир, 1987.
3. Разенкова Н. И., Филиппова Т. В., Янин Е. П. О формах нахождения тяжелых металлов в техногенном потоке рассеяния// Методы изучения техногенных геохимических аномалий. М., 1984. С. 66—69.
4. Саев Ю. Е., Янин Е. П. Геохимические закономерности образования антропогенных потоков рассеяния химических элементов в малых реках. Там же. С. 31—44.
5. Янин Е. П. Антропогенные потоки рассеяния химических элементов в поверхностных водотоках// Исследование окружающей среды геохимическими методами. М., 1982. С. 43—56.