

© А. П. Носаль

## **ИЗУЧЕНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ МЕТАЛЛОВ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ВЕРХОВЬЕВ р. ЧУСОВОЙ**

(Представлена д. чл. УАГН Н. А. Григорьевым)

Донные отложения существенно влияют на качество вод. При антропогенном воздействии в донных отложениях аккумулируются вещества, способные вызывать так называемое “вторичное” загрязнение (в том числе и более существенное, чем “первичное”). Техногенные донные отложения могут изменять направленность внутриводоемных процессов [1]. Характер донных отложений — суммирующий показатель загрязненности водного объекта. Ввиду малой скорости перемещения донных отложений оценка загрязненности водного объекта по ним не требует постоянных режимных наблюдений. Это удешевляет мониторинг состояния водотоков [2].

Изучен химический состав донных отложений и поровых вод бассейна р. Чусовой. Река Чусовая — левобережный приток р. Камы. Она впадает в Каму в 693 км от устья (в Чусовской залив Камского водохранилища). Общая длина реки 592 км, площадь водосбора 23300 км<sup>2</sup>, средняя высота водосбора 347 м, средний уклон 0,5 промилле, залесенность 89 %. Сток р. Чусовой и ее притоков в верховьях значительно (более 15 водохранилищ для водоснабжения Екатеринбургского промрайона и Первоуральско-Ревдинского промузла, каскад Полевских водохранилищ на р. Северушке, пруд у д. Косой Брод, Верхне-Макаровское, Волчихинское, Глубочинское и др). Крупнейшими являются: Верхнемакаровское и Волчихинское водохранилища, созданные соответственно в 1972 и 1945 гг. Начиная с 1945 г., бассейн р. Чусовой, стал основным в обеспечении хозяйственно-питьевого водоснабжения г. Екатеринбурга. ФГУП РосНИИВХ, г. Екатеринбург

За время эксплуатации водохранилища существенно заилились. Суммарный объем донных отложений в Волчихинском водохранилище составляет 8,73 млн. м<sup>3</sup> (заиленность около 10 %), объем донных отложений в Верхнемакаровском водохранилище — около

\* ФГУП РосНИИВХ, г. Екатеринбург

3 млн. м<sup>3</sup>. В донных отложениях скопилось значительное количество загрязняющих веществ, в том числе металлов, которое при определенных условиях могут ухудшить качество воды в основных источниках водоснабжения г. Екатеринбург.

Водосбор р. Чусовой расположен в пределах подзоны южной тайги. Почвенный покров рассматриваемой территории отличается значительной пестротой, представлен горно-таежными, подзолистыми, дерново-подзолистыми, местами горно-луговыми и торфяно-болотистыми почвами. По механическому составу подавляющее большинство почв тяжелосуглинистые.

Водосбор расположен в пределах бассейна грунтовых вод зон трещиноватости в породах среднего и нижнего палеозоя. Подземные воды приурочены исключительно к зонам трещиноватости и их водообильность зависит от степени трещиноватости. Трещиноватые воды имеют довольно разнообразный химический состав, но преобладают гидрокарбонатные кальциево-магниевого с минерализацией от 0,05 до 0,6 г/л.

Питание р. Чусовой смешанное, в основном снеговое (55 % от годового). С 1978 г. осуществляются межбассейновые переброски из р. Уфы (Нязепетровское водохранилище).

Значительное влияние на формирование ресурсных и качественных характеристик поверхностных вод бассейна р. Чусовой оказывают болота. В среднем до плотины Волчихинского водохранилища заболоченность составляет около 4 %, но на отдельных притоках процент заболоченности значительно выше.

На качество воды в реке и водохранилищах влияет местный сток поверхностных вод, разгрузка грунтовых вод, атмосферные осадки. Существенное влияние оказывают источники антропогенного загрязнения — точечные и диффузные. Точечные источники — сбросы сточных вод промпредприятий — функционируют весь год и отличаются относительно стабильным химическим составом. Диффузное поступление поллютантов происходит в основном в фазы повышенной водности с сельхозугодий и урбанизированных территорий. На рассматриваемом участке характерно наличие точечных выпусков на притоках и широкое распространение ландшафтов, измененных техногенезом (отвалы, карьеры, шламохранилища, пр.).

В табл. 1 представлены обобщенные фоновые концентрации металлов в бассейне р. Чусовой до створа плотины Волчихинского водохранилища. Фоновые концентрации меди и железа в исследуемом районе выше установленных рыбохозяйственных ПДК.

Таблица 1

## Фоновые концентрации металлов в воде р. Чусовой по основным сезонам

Период водности	Концентрации, мг/л						
	Железо	Кадмий	Свинец	Медь	Марганец	Цинк	Алюминий
Летне-осенняя межень	0,6	0,0003	0,015	0,025	0,13	0,02	0,3
Зимняя межень	0,35	0,0002	0,001	0,02	0,17	0,007	0,13
Весеннее половодье	0,5	0,0002	0,004	0,04	0,05	0,015	0,3
ПДК рыбхоз	0,1	0,005	0,1	0,001	0,01	0,01	0,04
ПДК кб	0,3	0,001	0,03	0,1	0,1	0,01	0,5

Данные о содержании металлов в донных отложениях рек исследуемого бассейна практически отсутствуют. По донным отложениям водохранилищ имеется отрывочная информация, позволяющая сделать лишь предварительные выводы. В табл. 2 приведены имеющиеся сведения по валовому содержанию металлов в донных отложениях. Расположение точек отбора представлено на рис. 1.

В Верхнемакаровском водохранилище отмечается относительно равномерное распределение большинства металлов в донных отложениях различных частей водохранилища. Некоторое повышение содержания меди, марганца и цинка по сравнению с другими пробами зафиксировано в затопленной старице левобережной поймы в 400 м выше п/л "Изумруд".

В Волчихинском водохранилище также довольно однородное распределение концентраций большинства элементов по акватории водохранилища, на фоне которого резко выделяются илы Ельчевского залива, где отмечаются аномально высокие для донных отложений водоема концентрации меди, железа и цинка. Очевидно, наличие этих ингредиентов в илах является результатом многолетнего выноса загрязнений по р. Ельчевке с Дегтярской техногенной зоны до создания Ельчевского накопителя — отстойника в 70-е годы. Отмечается повышение содержания железа вблизи устья р. Исток (вынос с болот правобережья и оз. Половинное).

Общее валовое содержание поллютантов не отражает в полной мере опасности "вторичного" загрязнения, так как они в большинстве находятся в связанных, нерастворимых или слабо растворимых соединениях. В большей степени потенциальный выход металлов в придонный слой воды зависит от их содержания в поровых растворах илов, первую очередь глинистой фракции (менее 0,002 мм) [3].

В течение 1999 г. для анализа пространственно-временной изменчивости качества донных отложений был проведен отбор проб

донных отложений для определения пространственной изменчивости состава поровой (иловой) воды.

Точки отбора проб донных отложений для исследования поровой воды на содержание тяжелых металлов в водотоках и водоемах указаны на рис. 2 и 3. Расположение пунктов выбиралось отдельно

Схема расположения пунктов отбора донных отложений в верховьях р. Чусовой (поровая вода)

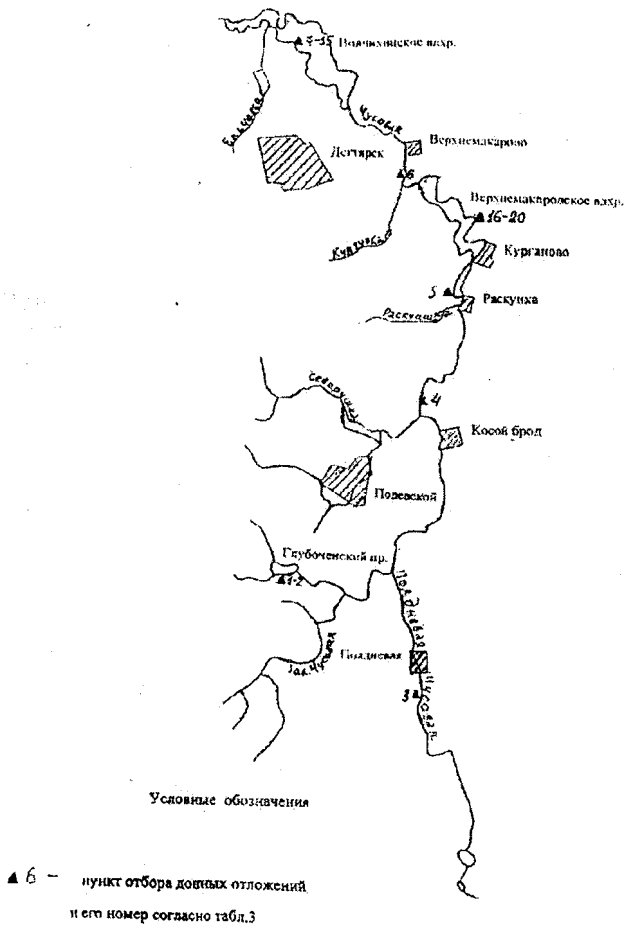


Рис. 2

для водотоков и водохранилищ, ориентируясь на общие сведения о техногенной нагрузке на водосборе.

Для водохранилищ в качестве фонового водоема было выбрано Глубочинское водохранилище, существующее около 200 лет и находящееся вне зоны интенсивного современного техногенеза.

СХЕМА РАСПОЛОЖЕНИЯ ТОЧЕК ОТБОРА ДОННЫХ ОТВОЖЕНИЙ  
ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВАЛОВОГО СОДЕРЖАНИЯ МЕТАЛЛОВ

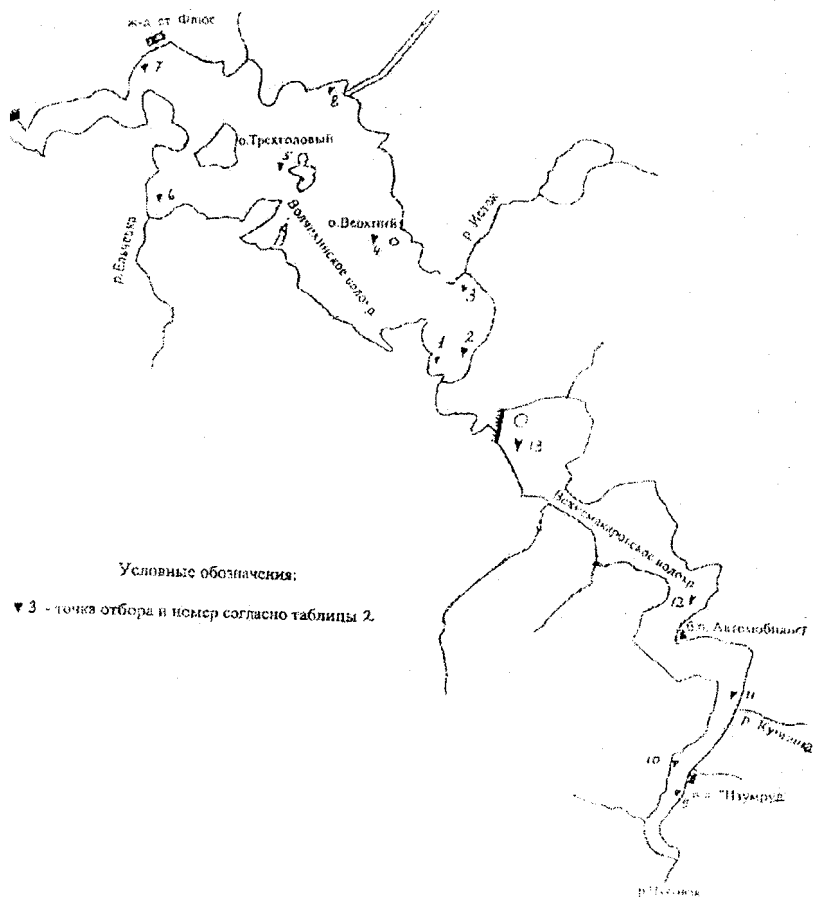




Схема расположения точек отбора донных отложений для определения содержания металлов в поровой воде

акваториях Глубочинского, Верхне-Макаровского и Волчихинского водохранилищ отбор проб производился в характерных точках расположенных относительно равномерно по площади водоемов, начиная от верховий до плотин, включая большие заливы. При наличии донных отложений значительной мощности (более 0,5 м) пробы были отобраны послойно. При химическом анализе поровой



Схема расположения точек отбора донных отложений для определения содержания металлов в поровой воде

воды, в тех случаях, когда мощность донных отложений не превышала 0,5 м, верхний и нижний слой были объединены.

На водотоках в качестве фоновых первоначально были выбраны два створа на р. Полднейвой и Западной Чусовой вне зон антропогенного воздействия. Кроме того, производился отбор проб в самой Чусовой в 20—50 метров ниже впадения крупных притоков в местах конуса выноса наносов.

Результаты исследования пространственной изменчивости содержания металлов в поровой воде донных отложений приведены в

Таблица 3  
**Содержание металлов в поровой воде донных отложений водотоков и водоемов бассейна р. Чусовой**

Точка отбора пробы	Содержание металлов в поровой воде, мкг/л										
	Хром	Медь	Железо	Марганец	Никель	Цинк	Алюминий	Кадмий	Свинец	Мышьяк	Ртуть
1. Глубочинский пруд — верховья	119,9	5,63	1741	547,5	0,1	3,5	1116,7	0,42	0,6	0,53	0,01
2. Глубочинский пруд — приллотинная часть	172,7	5,04	8357	6683	4,64	97,5	1437	1,05	2,1	2,53	0,81
3. Подпневная Чусовая — с. Подпневное	160,4	5,87	1280	6102	5,66	3,0	388,0	0,10	0,95	0,61	0,01
4. Чусовая — 20 м ниже устья р. Северушки	83,9	21,1	1050	7410	6,40	6,5	186	0,18	2,62	4,0	1,3
5. Чусовая — 15 м ниже устья р. Раскуишки	135	6,4	402	8210	7,10	5,0	339	0,06	2,46	2,3	3,0
6. Чусовая — 20 м ниже устья р. Кунгурки	201,7	148,4	411,1	3625	34,4	118,3	559,8	0,84	2,44	0,86	0,01
7. Волчихинское водохранилище — Ельчевский залив, 500 м ниже устья, верх. слой	249,9	12,9	1752	9201	86,1	98,6	106,2	0,71	0,50	1,22	0,02
7а. Волчихинское водохранилище — Ельчевский залив, 500 м ниже устья, ниж. слой	99,8	3,53	895,5	8167	37,5	129,0	98,1	0,70	0,76	1,35	0,01
8. Волчихинское водохранилище — Ельчевский залив, около устья, верх. слой	103	7,70	179	4410	13,2	1410	35,0	8,70	0,53	0,30	1,30
8а. Волчихинское водохранилище — Ельчевский залив, около устья, ниж. слой	100	79,7	2134	1085	3,67	203,7	340,2	1,21	1,16	0,73	0,08



9. Волчихинское водохранилище — о-в Трехголовый, 150 м от берега, верх. слой	107,2	82,2	2523	1537	2,08	161,9	1140	0,99	0,80	0,66	0,04
9а. Волчихинское водохранилище — о-в Трехголовый, 150 м от берега, ниж. слой	144,5	13,3	1536	3904	4,86	10,2	299,6	0,51	1,06	1,06	0,01
10. Волчихинское водохранилище — залив у водозабортного канала, верх. слой	99,7	4,04	377,9	5479	1,70	26,4	302,2	0,19	0,21	2,45	0,01
10а. Волчихинское водохранилище — залив у водозабортного канала, ниж. слой	101,6	77,7	802,1	3992	4,16	109,2	165,0	0,50	0,45	5,45	0,05
11. Волчихинское водохранилище — о-в Верхний, верх. слой	192,5	4,21	200,4	10629	7,40	50,8	357,2	16,4	0,10	1,84	0,02
11а. Волчихинское водохранилище — о-в Верхний, ниж. слой	120,5	73,8	1324	4578	1,06	103,7	215,6	1,67	0,64	4,96	0,05
12. Волчихинское водохранилище — залив р. Исток, верх. слой	110,4	13,8	1021	5746	6,60	81,8	240,2	1,01	0,71	3,62	0,01
12а. Волчихинское водохранилище — залив р. Исток, ниж. слой	105,6	6,80	1846	6758	5,80	200,4	226,4	2,62	0,67	2,46	0,01
13. Волчихинское водохранилище — верховья, правый берег, ниж. слой	160,0	105,8	16635	3042	6,18	132,4	3861	0,69	2,90	4,30	0,03
13а. Волчихинское водохранилище — верховья, правый берег, верх. слой	97,4	25,4	9350	716	17,3	35,9	3200	0,15	3,15	1,60	0,20
14. Волчихинское водохранилище — верховья, левый берег, верх. слой	179,9	11,3	1864	6337	13,7	10,5	370,0	0,58	0,61	0,58	0,01

Окончание табл. 3

Точка отбора пробы	Содержание металлов в поровой воде, мкг/л										
	Хром	Мель	Железо	Марганец	Никель	Цинк	Алюминий	Кадмий	Свинец	Мышьяк	Ртуть
14а. Волчихинское водохранилище — верховья, левый берег, ниж. слой	128,0	10,3	1220	7860	6,4	21,8	213	0,44	1,10	0,20	2,10
15. Волчихинское водохранилище — остров у ст. Флюс	100,2	275,4	1266	2638	5,36	215,2	208,8	2,30	0,65	8,49	0,03
16. Верхне-Макаровское водохранилище — 40 м ниже устья р. Курганки	83,1	36,9	3220	1730	44	12,7	1080	0,67	2,35	2,6	1,4
17. Верхне-Макаровское водохранилище — база отдыха "Изумруд", левый берег	142	14,5	5940	4270	16,9	11,6	897	2,15	2,3	2,1	0,1
18. Верхне-Макаровское водохранилище-б/о "Изумруд", пр. берег	73,8	5,32	4531	7508	45,6	87	124,1	0,99	1,03	1,56	0,65
19. Верхне-Макаровское водохранилище — 400 м ниже базы отдыха "Автомобилист", правый берег	88,7	9,0	506	4320	31,7	19,5	574	0,54	1,04	1,3	1,2
20. Верхне-Макаровское водохранилище — 300 м выше плотины, левый берег	81,1	12,2	1210	892	14,6	10,4	572	1,00	1,35	0,4	2,8

табл. 3. Наблюдается широкое варьирование концентраций каждого из элементов.

Техногенное антропогенное воздействие по длине реки Чусовой четко прослеживается по содержанию отдельных металлов в поровой воде. В качестве фоновых приняты результаты только по пункту р. Полдневая Чусовая. В пробе из р. Западная Чусовая ввиду преобладания в донных отложениях песчаных фракций количество поровой воды весьма незначительно и выполнить корректный анализ не удалось. Следует отметить, что отсутствие достаточного количества иловых отложений практически означает и отсутствие возможности "вторичного" загрязнения на этом участке.

Анализ поровой воды русловых отложений показывает увеличение содержания меди ниже устья притоков, испытывающих техногенную нагрузку (Северушка, Кунгурка). Значительное увеличение содержания никеля, цинка, кадмия, хрома и алюминия зарегистрировано ниже устья р. Кунгурки, в бассейне которой расположено несколько горнорудных предприятий по добыче полезных ископаемых. Выше этого участка величины концентраций металлов по сравнению с фоновым содержанием колеблются несущественно.

В речных донных отложениях по длине реки зафиксировано плавное снижение концентраций железа, что, по-видимому, связано с уменьшением, с одной стороны, заболоченности бассейна, с другой стороны, площадей залегания железосодержащих горных пород. Относительно ртути и мышьяка каких-либо четких тенденций по длине реки не отмечено.

Таким образом, сравнительный анализ содержания тяжелых металлов в речных донных отложениях позволяет дать приближенную оценку техногенной нагрузки на отдельные притоки.

Для Глубочинского водохранилища, являющегося фоновым водоемом, характерно увеличение содержания большинства металлов от верховий к приплотинной части, что обусловлено как транспортом наносов, так и гранулометрическим составом донных отложений. Мелкодисперсные илы у плотины более обводнены, обладают большей сорбционной способностью, что в итоге определяет повышение концентраций поллютантов.

В распределении металлов в поровой воде донных отложений Верхне-Макаровского водохранилища наблюдается довольно пестрая картина. Отмечается постепенное снижение концентраций меди, алюминия, свинца, мышьяка и никеля в направлении от верховий к плотине. Максимальные значения хрома, кадмия, железа и марганца зафиксированы в верхней трети водохранилища прибли-

зительно по линии ежегодной зимней сработки. Максимальные значения ртути наблюдаются в приплотинной части.

Волчихинское водохранилище отличается сложной конфигурацией, наличием затопленных торфяных массивов, существенным воздействием аэротехногенного загрязнения от выбросов гг. Ревда и Первоуральск, поэтому картина распределения металлов в нем довольно разнообразная. В большинстве точек пробы отбирались на двух уровнях; однозначного превышения концентраций металлов в верхнем или нижнем слое по всему водохранилищу не зарегистрировано.

Наибольшие значения содержания хрома и никеля наблюдаются в Ельчевском заливе. Донные отложения Ельчевского залива и верховья водохранилища отличаются повышенными концентрациями цинка — более 200 мкг/л. В верховьях зафиксированы максимальные значения алюминия и свинца. Наивысшие значения железа отмечаются в районах затопленных торфяников, содержание достигает 16635 мкг/л. Максимум по марганцу и мышьяку приходится на среднюю часть водохранилища, приблизительно соответствующую первоначальным верховьям водохранилища сразу после его строительства. Распределение кадмия и ртути хаотично, пятна с максимальным содержанием этих ингредиентов зафиксированы в Ельчевском заливе и в районе железнодорожной станции Флюс.

Сравнительный анализ показал, что содержание хрома, за исключением Ельчевского залива, не превышает фоновых значений. Схожая картина отмечается по железу, ртути и алюминию. Существенное превышение фона приблизительно в 50 % зафиксировано по мышьяку, цинку, кадмию. Практически повсеместно превышены фоновые значения по меди и никелю, аналогичная ситуация отмечается и на Верхнемакаровском водохранилище.

Анализ поровой воды донных отложений в верховьях р. Чусовой показал наличие большой пространственной изменчивости содержания металлов в них, что связано с разными механизмами естественного накопления и антропогенного загрязнения на разных участках.

Сравнение состава донных отложений фоновых (эталонных) и исследуемых водных объектов позволяет наметить контуры желаемого состояния водного объекта, определить необходимые параметры на дальнюю и ближнюю перспективу, а при потенциальной опасности "вторичного" загрязнения разработать комплекс мероприятий для его предотвращения или снижения негативных последствий. Следует отметить, что водотоки и водоемы необходимо рас-

смаатривать раздельно. Крупные реки, по-видимому, следует разделять на отдельные участки с учетом геологических условий, истории развития русла и хозяйства на водосборе. В идеале желательна установка корреляционных зависимостей химического состава донных отложений с геологическим строением водосбора.

#### Литература

1. Попов А. Н. Влияние донных отложений на состояние водотоков и водоемов // Мелиорация и водное хозяйство. 2001. № 1.

2. Экологические функции литосферы / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 2000.

3. Коломийцев Н. В., Райнин В. Е., Ильина Т. А., Зимина-Шилдыбина Л. Б., Мюллер Г. Исследования загрязненности донных отложений как основа мониторинга состояния водотоков // Мелиорация и водное хозяйство. 2001. № 3.