

**Янин Е.П. Химический состав и минералогические особенности техногенных речных илов // Прикладная геохимия. Вып. 6. Экологическая геохимия Москвы и Подмосквья. – М.: ИМГРЭ, 2004, с. 195–221.**

#### Введение

В настоящее время в руслах рек промышленно-урбанизированных районов широко распространен новый тип современных речных отложений - техногенные илы, которые обладают своеобразными литолого-геохимическими свойствами, резко отличающих их от естественного руслового аллювия, типичного для фоновых участков речной сети. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что материальной основой илов являются техногенные наносы, поступающие в водотоки с промышленными и бытовыми сточными водами и с загрязненным промышленными выбросами и отходами поверхностным стоком с освоенных территорий [26, 29-30]. Именно техногенные илы являются концентраторами основной массы загрязняющих водотоки веществ и в существенной мере определяют эколого-геохимические особенности речных экосистем в промышленно-урбанизированных районах. Отсюда следует, что оценка экологического состояния рек и разработка мероприятий по их очистке и восстановлению должны проводиться с учетом масштабов распространения в речных руслах техногенных илов, их вещественного состава, геохимических свойств и токсикологической опасности.

Петрохимический состав, минералогические особенности и гранулометрические характеристики техногенных аллювиальных отложений, в существенной мере контролирующие интенсивность концентрации в илах различных органических и неорганических поллютантов, установлены недостаточно полно. С этих позиций представляет интерес материал, полученный при изучении вещественного состава русловых отложений в бассейнах рек Пахры (Московская область) и Нуры (Центральный Казахстан).

#### Методика исследований

В бассейне Пахры пробы отложений отбирались в верховьях реки (фоновый участок, типичный русловой аллювий), в сельскохозяйственном районе (илистые и слабogliнистые пески), в зоне влияния г. Подольска (техногенные илы), а также в водоемах и ручьях, дренирующих расположенную ниже по течению Щербинскую свалку отходов (техногенные илы). Отбор и первичная обработка проб донных отложений (верхний 0–20 см слой) осуществлялись в соответствии с рекомендациями [10].

При гранулометрическом анализе образцов фракции крупнее 0,25 мм отделялись с помощью стандартного сита, более мелкие частицы – отмучиванием (без использования жестких реагентов с целью установления близкой к реальной агрегатной структуры илов) и пипеточным методом [16]. Статистическая обработка полученных результатов проводилась с использованием известных приемов [2, 15, 16, 22].

Минералогический анализ указанных проб отложений был выполнен по стандартным методикам в лаборатории физико-геологических исследований Института океанологии РАН. Для установления различий минерального состава отложений, распространенных в руслах водотоков в районах с разной степенью хозяйственного освоения водосборов, использовались показатели и коэффициенты, традиционно применяемые в терригенной минералогии и при изучении процессов осадкообразования в зоне гипергенеза [3, 4, 12]. Как известно, особенности поведения минералов в осадочном процессе зависят от таких их характеристик, как химическая устойчивость, физико-механическая устойчивость и гидроаэродинамическая устойчивость, в существенной мере определяющих миграционную способность минералов [3]. Группировка минералов по их поведению в зоне гипергенеза базировалась на материалах М.Г. Бергера [3] (табл. 1).

В бассейне р. Нуры (в зоне влияния г. Темиртау) были изучены техногенные илы, эпифитовзвесь и различные разновидности промышленных отходов, являющихся материальной основой илов, интенсивно развитых в русле р. Нуры [24, 25]. Отбор и первичная обработка проб эпифитовзвеси, техногенных илов и промышленных отходов осуществлялись в соответствии с методическими приемами, изложенными в ряде работ автора этих строк [24, 29–32]. Определение минерального состава отложений осуществлялось в лаборатории ИМГРЭ на автоматизированном дифрактометрическом комплексе (дифрактомер ДРОН-3.0); количественная оценка весового содержания минералов выполнена дифракционно-адсорбционным методом по результатам измерения интенсивности в максимуме аналитического пика минералов в пробе и соответствующего эталона с учетом коэффициентов массового поглощения пробы, рассчитанных по данным силикатного анализа и коэффициента поглощения эталонного минерала.

Компоненты петрохимического состава отложений (классический силикатный анализ) исследовались по стандартным методикам (сочетание гравиметрического, объемного комплексометрического, потенциометрического, пламенно-фотометрического, фотоколориметрического методов). Исследование распределения химических элементов в различных гранулометрических фракциях речных отложений проводилось

атомной абсорбцией (ртуть) и количественным спектральным методом (прочие элементы). Результаты всех анализов даются на сухую навеску образца. Химико-аналитические исследования проб осуществлялись в лабораториях ИМГРЭ.

Таблица 1. Группировка минералов по их поведению в зоне гипергенеза

Оценка	Химическая устойчивость	Физико-механическая устойчивость	Гидродинамическая устойчивость	Миграционная способность
Высокая	Анализ, дистен, лейкоксен, рутил, ставролит, турмалин, циркон, кварц	Гранат, ставролит, турмалин, циркон, кварц	Рутил, циркон	Анализ, гранат, дистен, лейкоксен, рутил, ставролит, турмалин, циркон, кварц, микроклин
Средняя	Апатит, гранат, сфен, микроклин	Анализ, апатит, дистен, лейкоксен, пироксены, роговая обманка, рутил, сфен, тремолит-актинолит, эпидот, микроклин, плагиоклаз, полевые шпаты	Анализ, гранат, дистен, лейкоксен, ставролит, сфен	Роговая обманка, сфен, эпидот, плагиоклаз
Низкая	Пироксены, плагиоклазы, полевые шпаты, роговая обманка, тремолит-актинолит, эпидот, глаукоцит	Глаукоцит	Апатит, пироксены, роговая обманка, тремолит-актинолит, турмалин, эпидот, глаукоцит, кварц, микроклин, полевые шпаты	Апатит, пироксены, тремолит-актинолит, глаукоцит, полевые шпаты

#### Особенности вещественного состава донных отложений водотоков бассейна реки Пахры

В естественных условиях для р. Пахры и ее притоков типично развитие главным образом песчаных отложений, представляющих собой разновидности песков с включениями более крупного материала и присутствием незначительных количеств глинистых частиц [1, 14]. В настоящее время такими отложениями выстланы верховья рек, а также участки гидросети, не испытывающие прямого техногенного воздействия. В зоне влияния промышленных объектов и городов в руслах водотоков широко развиты техногенные илы, обладающие своеобразным химическим составом. Например, в р. Пахре в зоне влияния г. Подольска участки с развитием подобных отложений прослеживаются на десятки километров вниз по руслу, причем непосредственно ниже г. Подольска техногенные илы выстилают значительную часть современного речного русла (рис. 1).

По мере удаления от города илы встречаются в виде отдельных пятен и линзообразных скоплений. Даже в песчано-гравийно-галечниковом материале, выстилающего стрежень реки, обычно присутствуют частицы техногенного ила. Техногенные илы и поступающая в составе сточных вод взвесь отличаются от фонового аллювия пониженным содержанием кремнезема и увеличенными количествами соединений алюминия, кальция, железа; они также характеризуются высокими содержаниями органических веществ и серы. Уровни содержания ртути в илах и взвеси в десятки и даже сотни раз превышают ее концентрации в фоновом аллювии (табл. 2).

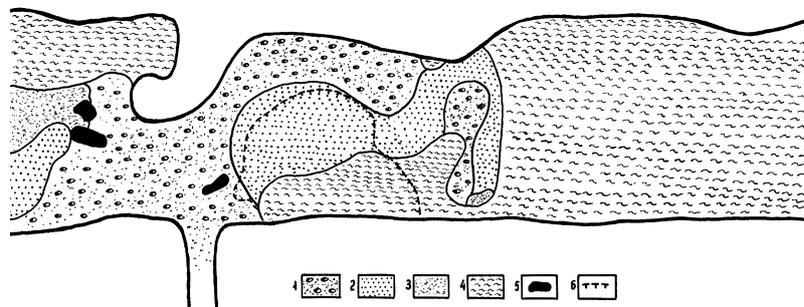


Рис. 1. Литологическая схема русла р. Пахры в месте впадения в нее руч. Черного, по которому осуществляется сброс сточных вод г. Подольска [27]

1 – гравийно-галечные отложения с песчаным заполнителем; 2 – крупнозернистые пески; 3 – тонкие илстые пески; 4 – техногенный ил; 5 – острова; 6 – граница отмели

Таблица 2. Петрохимический состав донных отложений и взвеси р. Пахры, %

Компонент	Фоновый аллювий**	Выше Подольска***	Устье р-чья Черного****	2 км ниже Черного (ил)	9 км ниже Черного (ил)	Взвесь, устье Черного [33]
SiO <sub>2</sub>	78,50	77,03	82,10	61,70	69,70	28,3
TiO <sub>2</sub>	0,48	0,43	0,15	0,38	0,22	0,40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,52	5,74	4,24	8,63	7,43	5,50
FeO+Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,62	2,43	1,98	4,90	2,94	7,36
MnO	0,07	0,06	0,04	0,02	0,03	*****
MgO	1,26	1,12	0,41	0,66	0,50	2,32
CaO	3,17	4,30	4,0	6,08	5,73	8,14
Na <sub>2</sub> O	0,72	0,77	0,52	0,68	0,57	0,88
K <sub>2</sub> O	1,60	1,73	1,14	1,62	1,12	1,15
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,26	0,25	0,37	0,58	0,39	-
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,83	0,65	0,28	0,96	0,44	-
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	2,88	2,58	1,45	3,72	2,62	-
S <sub>общая</sub>	<0,01	0,01	0,11	0,18	0,06	-
ППП*	2,16	1,88	1,78	10,88	9,20	41
CO <sub>2</sub>	2,05	3,37	2,69	3,18	1,82	-
C <sub>орг</sub>	1,20	0,65	0,60	4,35	1,97	-
Hg <sub>2</sub> , мг/кг	0,03	0,04	2,2	4,8	4	10

\* Здесь и далее - потери при прокаливании; \*\* верховья р. Пахры; \*\*\* слаболистые пески; \*\*\*\* разномерные пески с частицами техногенного ила; \*\*\*\*\* здесь и далее - нет данных.

Донные отложения изученных районов заметно различаются минеральным составом легкой и тяжелой фракций (табл. 3). Эти изменения определяются различиями источников поступления осадочного материала и процессов его вторичного преобразования в водотоках.

Таблица 3. Средний минеральный состав речных отложений (бассейн р. Пахры)

Минералы	Район			
	Фоновый	Сельскохозяйственный	Город	Свалка
Легкая фракция (сумма = 100%)				
Кварц	71,87	69,44	60,45	63,01
Полевые шпаты	13,60	13,56	11,48	8,26
Кислые плагиоклазы	4,13	4,00	6,14	5,32
Микроклин	2,28	1,53	1,24	1,32
Глауконит	0,57	0,78	1,97	1,0
Карбонатные минералы	0,32	3,39	12,22	5,53
Портландит	-	-	1	0,5
Измененные минералы	6,40	5,15	2,59	2,05
Лимонитизированные обломки	-	-	2,10	13,0
Прочие	0,83	2,15	0,81	0,10
Тяжелая фракция (сумма = 100%)				
Черные рудные	22,68	20,13	24,81	20,00
Обыкновенная роговая обманка	24,05	23,75	14,04	8,83
Гидроокислы железа	3,97	5,78	10,84	26,43
Измененные минералы и обломки	1,82	1,83	0,72	1,83
Лейкоксен	1,57	1,05	1,22	1,03
Гранат	7,23	8,57	7,28	8,80
Моноклинные пироксены	0,83	1,83	1,06	0,27
Ромбические пироксены	0,50	0,52	0,22	-
Тремалит-актинолит	2,20	2,11	1,25	0,97
Эпидот	18,38	15,87	12,82	9,53
Циркон	6,65	5,32	8,41	6,50
Ставролит	0,97	1,32	1,46	1,83
Турмалин	0,88	1,05	1,83	1,88
Дистен	1,51	1,43	4,33	4,10
Рутил	1,93	1,36	2,67	2,03
Анастаз	0,82	0,68	1,17	1,03
Сфен	0,93	0,76	0,59	0,52
Апатит	1,53	3,53	1,28	1,17
Прочие	1,55	3,11	4,00	3,25
Выход тяжелой фракции, %	2,56	2,93	3,64	3,49
Количество проб	7	10	10	7

Примечание. Приведены усредненные данные; среди прочих минералов в отдельных пробах в легкой фракции везде встречаются (обычно 1–5; всего учитываемых зерен при анализе в легкой фракции – 286–376, в тяжелой – 305–471) единичные зерна биотита, средних основных плагиоклазов, в городе и на свалке - хлорита, мусковита, халцедоновых обломков, вулканического основного стекла, на свалке – вулканического кислого стекла; среди прочих минералов в тяжелой фракции в городе (чаще) и на свалке присутствуют единичные зерна пирита-марказита, шпинели, андалузита, корунда, хлоритоидов, хромшпинели, эгирина, оливина, сидерита, силлиманита, баритоцелестина

В пределах фоновых участков исходными для образования руслового аллювия являются главным образом горные породы и почвы, слагающие речной водосбор. Здесь в руслах водотоков обычно формируется, в терминологии В.А. Кузнецова [7], так называемая литогенная фация аллювия. В зонах техногенного загрязнения значительные количества осадочного материала поступают в реку со сточными водами и поверхностным стоком с промышленно-урбанизированных территорий, что, в сущности, и обусловило формирование здесь на значительной части русла техногенных илов. В легкой фракции изученных отложений (в ряду фон-агрорайон-город-свалка) наблюдается снижение содержания основных породообразующих минералов - кварца и полевых шпатов, происходит существенный рост количества карбонатных минералов (судя по всему, главным образом кальцита), особенно в зоне влияния города, и лимонитизированных обломков (особенно в ручьях и водоемах свалки), причем образования лимонита часто представлены здесь рыхлыми стяжениями (табл. 3, 4). Кроме того, в легкой фракции техногенных илов фиксируется заметное увеличение содержания кислых (Na-Ca) плагиоклазов и глауконита, снижение доли микроклина и измененных обломков, а также появление такого редкого минерала, как портландит.

Таблица 4. Минералогические показатели и коэффициенты (легкая фракция)

Район, где отбирались донные отложения	Сумма полевых шпатов, %	Кварц/остальные минералы легкой фракции	Аутигенные/аллютигенные*
Фоновый	20,01	2,55	0,012
Сельскохозяйственный	19,09	2,27	0,06
Городской	18,86	1,53	0,24
Свалка	14,90	1,70	0,10

\* Глауконит+карбонатные минералы/кварц.

Увеличение содержания карбонатных минералов в отложениях водотоков сельскохозяйственного района явно обусловлено применением здесь минеральных удобрений. В зоне влияния промышленных объектов карбонатные минералы в значительном количестве поступают в составе взвеси сточных вод, что является следствием специфики процессов очистки сточных на городских и локальных очистных сооружениях. Так, максимальное содержание карбонатов наблюдается в илах, формирующихся в Пахре ниже сброса сточных вод (рис. 2).

Судя по всему, возможен также и осадочный (хемогенный) путь образования карбонатов при перераспределении вещества в ходе его русловой миграции и последующего осаждения (особенно в водоемах и водотоках, дренирующих свалку отходов). Например, в русле р. Березины ниже сбросного канала сточных вод фанерно-деревообрабатывающего комбината, объединения «Бобруйскшина» и ТЭЦ (г. Бобруйск) были установлены не характерные для природных аллювиальных комплексов техногенные глинисто-карбонатные отложения, мощность которых изменялась от 10 до 70 см при простирании около 7 м [18]. Рентгеновским методом в отложениях обнаружена кальцитовая фаза с набором рефлексов, свойственных упорядоченному кальциту. Помимо кальцита, указанные отложения содержали каолинит, кварц, полевые шпаты и некоит (обычно образующийся в результате искусственного синтеза при температуре 100°C). Новообразование идентифицировано авторами цитируемой работы как известняк глинистый (мергель) неравномерно ожеженный.

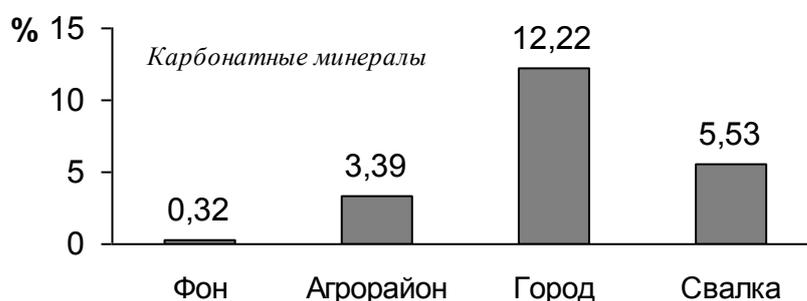


Рис. 2. Содержание карбонатных минералов в донных отложениях (бассейн р. Пахры).

Наличие значительных количеств лимонитизированных обломков в техногенных илах, формирующихся в зоне влияния города, и особенно в илах небольших пойменных водоемах, принимающих обогащенный железом сток с территории свалки, типичное для таких условий явление. Так, в ручьях и водоемах свалки может происходить образование вивинита (который часто ассоциируется в старичных отложениях с карбонатами, как правило, с кальцитом [8]) и глауконита, формированию которого способствуют слабос-

становительные (глеевые) условия, свойственные илам. Известно [2, 13], что чем крупнее размерность осадочных образований, тем больше входит в их состав недезинтегрированных обломков. Поскольку техногенные илы отличаются более тонким составом, то резкое снижение в них количества таких обломков (по сравнению с более грубым фоновым аллювием) также закономерно. Очень характерно присутствие в техногенных илах портландита - минерала цемента и угольной золы, отсутствующего в фоновом аллювии и отложениях рек сельскохозяйственного района и, таким образом, являющегося индикатором техногенного воздействия.

Обычно в качестве показателя химической зрелости терригенно-минеральной ассоциации легкой фракции принято считать процентное содержание в ней кварца [3]. С этих позиций фоновый русловой аллювий (более «потрепанный», как писали в старой геологической литературе, гипергенными процессам) характеризуется средней химической зрелостью, а техногенные илы, являющиеся молодыми образованиями, закономерно отличаются низкой химической зрелостью.

Техногенное воздействие на поверхностные водотоки обуславливает и существенную трансформацию минерального состава тяжелой фракции отложений (см. табл. 3), что особенно наглядно проявляется в значениях различных минералогических показателей и коэффициентов (табл. 5).

Таблица 5. Минералогические показатели и коэффициенты (тяжелая фракция)

Район	Сумма устойчивых, %	ZTR-индекс Дж.Хьюберта*	Аутигенные/аллоигенные**	Ставролит/дистен
Фоновый	14,33	9,45	0,08	0,64
Сельскохозяйственный	12,21	7,73	0,12	0,92
Городской	21,09	12,91	0,38	0,33
Свалка	18,04	10,41	0,97	0,45

\* Показатель высшей химической зрелости тяжелой фракции (суммарное процентное содержание химически самых устойчивых терригенных минералов - циркона, турмалина и рутила [3]); \*\* гидроокислы Fe/роговая обманка+гранат+эпидот.

Продолжение табл. 5

Район	Роговая обманка/эпидот (коэффициент влияния местных пород)	Гидроокислы Fe/черные рудные	Устойчивые/роговая обманка (коэффициент устойчивости)	Роговая обманка/дистен+ставролит
Фоновый	12,6	0,18	0,6	9,7
Сельскохозяйственный	11,8	0,29	0,5	8,6
Городской	3,7	0,44	1,5	2,4
Свалка	3	1,32	2	1,5

Продолжение табл. 5

Район	Минералы высокой гидродинамической устойчивости, % (1)	Минералы низкой гидродинамической устойчивости, % (2)	Отношение (1): (2)
Фоновый	8,58	48,37	0,18
Сельскохозяйственный	6,68	48,68	0,14
Городской	11,08	32,5	0,34
Свалка	8,53	22,65	0,38

Окончание табл. 5

Район	Минералы высокой миграционной способности, % (1)	Минералы низкой миграционной способности, % (2)	Отношение (1): (2)
Фоновый	21,56	5,06	4,3
Сельскохозяйственный	20,78	7,99	2,6
Городской	28,37	3,81	7,5
Свалка	27,2	2,41	11,3

Так, в тяжелой фракции фонового аллювия суммарная доля черных рудных минералов, роговой обманки и эпидота составляет более 65%, в донных отложениях рек агрорайона – уже менее 60%, ниже города – около 52%, в зоне влияния свалки – всего лишь 38% (рис. 3).

Если для черных рудных минералов в целом отмечается некоторое колебание их содержания в изученных отложениях (можно лишь говорить о закономерном увеличении их количества в зоне влияния города, что, например, может быть связано с образованием в илах бурого железняка в результате окисления железосодержащих гидрогенных минералов), то в ряду фон-агрорайон-город-свалка наблюдается существенное снижение содержаний роговой обманки и эпидота (типичных для природного аллювия Центральных районов России минералов [8]) (рис. 4).

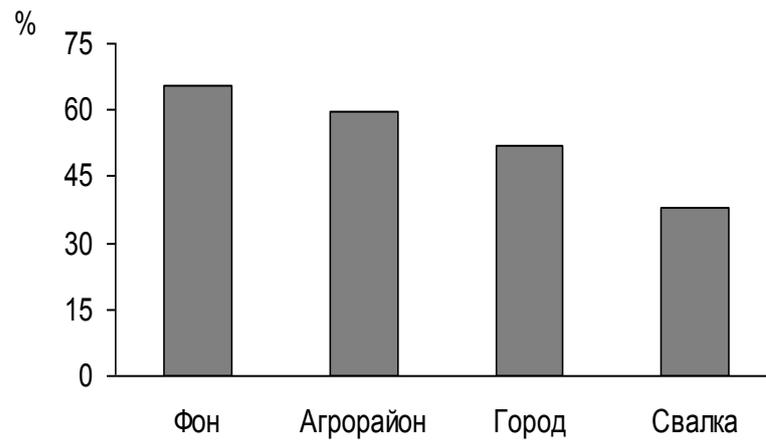
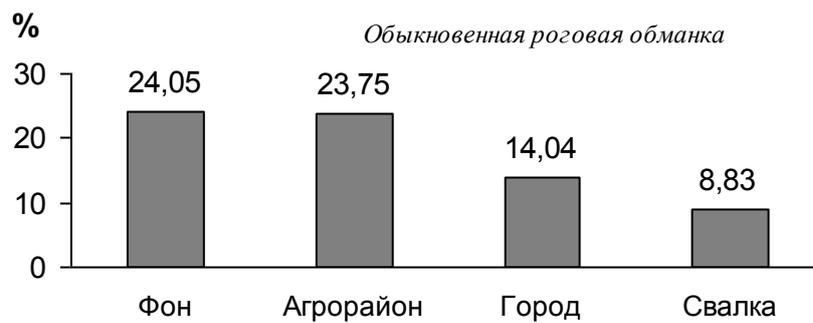


Рис. 3. Суммарное содержание черных рудных минералов, обыкновенной роговой обманки и эпидота в речных отложениях (бассейн р. Пахры)



5

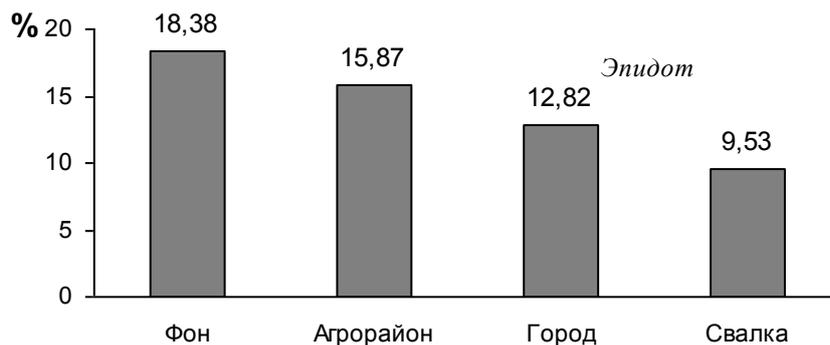


Рис. 4. Содержание эпидота и роговой обманки в донных отложениях.

Известно [3, 4, 6], что роговая обманка, эпидот, сфен и пироксены характеризуются низкой химической и физико-химической устойчивостью в зоне гипергенеза. В частности, сфен может разлагаться с образованием смеси из кальцита, кварца, рутила или анатаза [9]. Таким образом, указанные минералы, присутствующие в осадочном материале, активно разрушаются не только в ходе очистки сточных вод, но и в условиях техногенной обстановки осадконакопления. Одновременно в техногенных илах происходит заметный рост относительного содержания таких устойчивых в зоне гипергенеза минералов, как ставролит, дистен, рутил (часто ассоциирующихся друг с другом), анатаз, гранат.

Поскольку в условиях техногенеза поступление в реки железа всегда очень велико, то в ходе русловой миграции происходит его окисление и последующее выпадение в виде смеси оксидов и гидроксидов железа, часто в виде коллоидных и метакolloидных масс (рис. 5).

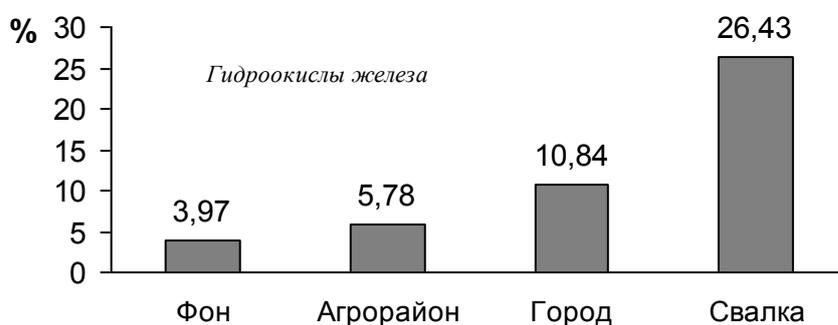


Рис. 5. Содержание гидроокислов железа в донных отложениях.

В ручьях и водоемах свалки этому способствует щелочная среда. Роль аморфных гидроокислов железа в концентрировании многих химических элементов общеизвестна. Увеличение содержания анатаза в техногенных илах может являться следствием вторичных изменений в ходе осадконакопления титанистых минералов, а заметный рост (во всех освоенных районах) количества неидентифицируемых (группы «прочих») минералов может быть объяснен появлением различных новообразований и, очевидно, обломков техногенных материалов. Более низкие значения отношения ставролит/дистен в зонах влияния города и свалки свидетельствуют о том (см. табл. 5), что по сравнению с природным аллювием техногенные образования находятся в стадии активного постседиментационного преобразования.

Увеличенное содержание в отложениях рек агроландшафтов апатита обусловлено применением здесь минеральных удобрений. Установлено [4], что в природных условиях уменьшение значения коэффициента влияния местных пород отражает увеличение участия обломков местных третичных (и частично более древних) осадочных пород на состав четвертичных отложений. В нашем случае наблюдаемое резкое уменьшение значений указанного коэффициента от фоновых районов к городу и свалке явно свидетельствует о роли техногенного осадочного материала, поступающего со сточными водами и поверхностным стоком с освоенных территорий (см. табл. 5). Дифференциально-термический анализ (дериватограф МОМ, чувствительность гальванометра ДТА 1/10, аналитик Л.К. Факина) установил наличие в техногенных илах глинистых минералов (типа монтмориллонита); в фоновом аллювии глинистый минерал на дифференциальной кривой практически не проявился.

#### Вещественный состав техногенных отложений в бассейне реки Нуры

В р. Нуру длительное время поступали сточные воды крупного металлургического комбината (КМК), химического завода «Карбид» и КарГРЭС-1 (работающей на угле), расположенных в г. Темиртау (Карагандинская область). В прошлые годы в реку осуществлялся прямой сброс шламовых вод указанной ГРЭС, содержащих до 2500 мг/л взвешенных веществ (по сути, угольной золы, объемы эмиссии которой в реку достигают нескольких миллионов тонн); известны многочисленные аварийные сбросы отходов с золоотвалов, шламохранилищ и с очистных сооружений города. В производстве карбида кальция на заводе «Карбид» использовался известняк Южно-Топарского рудоуправления и ПО «Карагандацемент», а также кокс с КМК. Важнейшая эколого-геохимическая особенность данного региона – интенсивное загрязнение среды обитания ртутью, которая длительное время использовалась на заводе «Карбид» при производстве ацетальдегида [25].

Фоновые участки русла р. Нуры, расположенные главным образом в ее верховьях, выстланы типичным русловым аллювием. В зоне влияния г. Темиртау оно в значительной степени, особенно на первых 25–30 км, сложено техногенными илами (рис. 6), мощность которых на отдельных участках русла достигает 2–3 м, иногда 3,5 м. По мере удаления илы встречаются в виде значительных пятен и линзообразных скоплений вблизи берегов, на отмелях, в затонинах. Свободные от ила участки русла выстланы песчано-гравийно-галечным материалом и разнозернистыми песками. Нередко в этих отложениях в качестве своеобразного наполнителя присутствуют частицы техногенного ила. Более того, в отдельных случаях илы могут образовывать значительные скопления даже на значительном удалении от города (в 80–100 км), а иногда полностью перекрывать слоем мощностью 40–50 см русло реки, например, в протоках, функционирующих в пе-

риоды паводков и паводков. Расчеты показывают, что на участках реки ниже города, протяженностью 100 км, объем илов составляет около 1,3 млн. м<sup>3</sup>, из этого количества примерно 340 тыс. м<sup>3</sup> приходится на первые 9–10 км русла [24, 25].

Фоновый аллювий характеризуется преобладанием кремнезема и невысоким содержанием органических веществ; его состав стабилен в пространстве. В техногенных илах доля кремнезема существенно снижается (до 40–50%), заметно возрастают содержания многих других компонентов, стабильно присутствуют высокие концентрации серы; резко увеличивается содержание органических веществ.

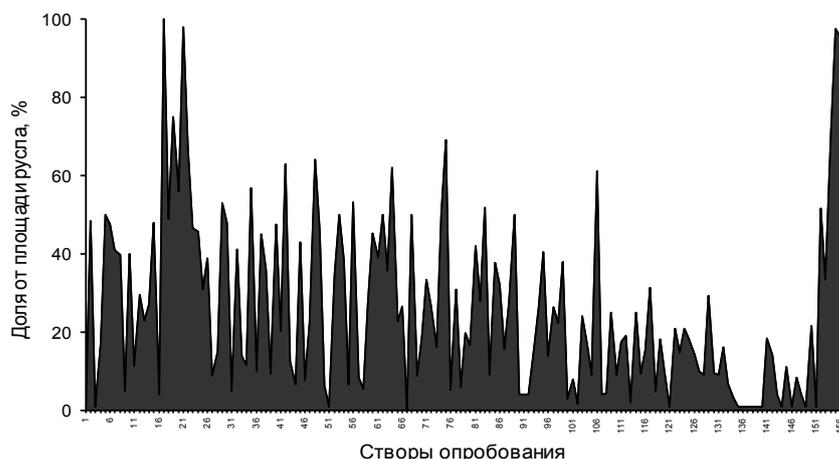


Рис. 6. Распределение техногенных илов по площади русла р. Нуры (створ 1 – окраина г. Темиртау; шаг опробования вниз по течению: створы № 2–100 – 250 м; далее – через 1 км; протяженность изученного участка русла – около 80 км).

Химический состав техногенных илов на более глубоких горизонтах залегания несколько отличается от состава верхних слоев, что является следствием их преобразования при консолидации и изменения различными диагенетическими процессами. В частности, увеличиваются содержания соединений железа, марганца, магния, натрия, фосфора; уменьшаются – серы фтора, органических веществ, кальция. Тем не менее морфологическое и химическое своеобразие техногенных илов выдерживается на значительных расстояниях. Так, даже на удалении в 100 км от города состав илов практически идентичен составу илов вблизи последнего (табл. 6). Различия проявляются главным образом в уровнях содержаний в илах ртути и некоторых других поллютантов.

Таблица 6. Основные компоненты химического состава техногенных илов и природного аллювия р. Нуры в зоне влияния г. Темиртау (слой 0-30 см), %

Компонент	Фоновый аллювий	Техногенные илы ниже сброса стоков, км			
		4,4	9	44,5	105
SiO <sub>2</sub>	74,90	42,37	50,46	50,5	57,6
TiO <sub>2</sub>	0,24	0,80	0,75	0,68	0,58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,66	17,26	17,26	12,95	11,12
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,28	1,41	1,24	3,04	2,4
FeO	1,41	3,45	4,31	2,16	2,87
MnO	0,06	0,09	0,09	0,38	0,21
CaO	1,35	10,51	4,44	5,92	3,84
MgO	0,62	0,70	1,30	1,9	1,9
Na <sub>2</sub> O	2,94	0,50	1,0	1,0	1,35
K <sub>2</sub> O	3,36	1,00	1,9	2,05	2,1
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,07	0,34	0,27	0,29	0,13
H <sub>2</sub> O	0,26	0,68	1,66	4,04	2,42
ППП	1,73	19,60	14,39	14,94	12,65
S <sub>общая</sub>	<0,1	0,54	0,83	0,81	0,23
CO <sub>2</sub>	0,13	6,38	1,98	4,4	1,54
F	0,02	0,05	0,025	0,05	0,03
Hg, мг/кг	0,044	200	200	10	1,2

Главной особенностью минерального состава техногенных илов является низкие содержания в них кварца, что обусловлено его невысокими содержаниями практически во всех видах промышленных отходов

(табл. 7). С этих позиций техногенные илы могут быть охарактеризованы как отложения, отличающиеся весьма низкой химической зрелостью. Основной матрицей техногенных илов является главным образом материал золоотвалов КарГРЭС-1, поступавший в р. Нуру со шламовыми водами и при аварийных сбросах золы, меньшую роль играет материал отходов карбидного производства и осадков сточных вод.

Таблица 7. Минеральный состав различных техногенных образований в зоне влияния г. Темиртау, %

Отложения	Кварц	Альбит	Калиевые полевые шпаты	Амфибол	Кальцит	Са-аломосиликат	Иллит	Каолинит
Шлам-1	2,9	-	-	-	18,4	-	сл.	сл.
Шлам-2	1	-	-	-	10,3	сл.	сл.	-
Шлам-3	1	-	-	-	8,2	сл.	сл.	-
Шлам-4	66,3	6,1	2,4	-	3,2	-	сл.	сл.
ОСВ-1	7,5	0,5	сл.	-	сл.	-	сл.	-
ОСВ-2	4,8	0,5	сл.	сл.	4,8	-	сл.	-
Зола	13,8	-	-	-	сл.	-	сл.	-
Эпифитовзвесь	8,6	сл.	-	-	22,6	-	сл.	-
Техногенный ил	21,5	1,9	-	сл.	1,8	-	сл.	сл.

Окончание табл. 7

Отложения	Смектиты	Муллит	Таумасит	Гипс	Гематит	Портландит	Гидрокалоумит	СК
Шлам-1	сл.	-	24,6	-	-	сл.	2	~50
Шлам-2	сл.	-	сл.	сл.	-	24	3	~36
Шлам-3	сл.	-	сл.	сл.	-	29,5	3	~39
ОСВ-1	сл.	-	-	-	-	-	-	~78
ОСВ-2	сл.	-	-	7	0,5	-	-	~17
ОСВ-3	сл.	сл.	-	-	0,5	-	-	~11
Зола	сл.	23	-	-	-	-	-	~37
Эпифитовзвесь	сл.	-	-	-	-	-	-	~32
Техногенный ил	сл.	13,6	0,5	-	сл.	сл.	сл.	~40

Примечание. Шламы: (1–3) – отходы карбидного производства химического завода «Карбид»: 1 – из болота Жаур (старый отстойник), 2 – из действующего отвала, 3 – из старого отвала; ОСВ (1–3) – осадки сточных вод: 1 – с полей смешения (сток завода «Карбид» и бытовой сток города), 2 – старые иловые карты, 3 – новые иловые карты; зола – материал из золоотвалов КарГРЭС-1; эпифитовзвесь (речная взвесь, осажденная на макрофитах), проба отобрана из р. Нуры ниже сброса сточных вод; техногенный ил – р. Нура ниже сброса сточных вод; СК – степень кристалличности, % (остаток, представляющий собой аморфную массу); сл. – следы.

Прежде всего, илы отличаются высоким содержанием муллита – обычно искусственного продукта, образующегося при высоких температурах. Хорошо известно, что для золы каменных углей характерно наличие значительных выделений типа муллита (в которых содержится свыше 70% глинозема, что отражается в общем химическом составе илов), а также метакаолина, силикатов и алюминатов кальция; зола углей отличается также высокими содержаниями стеклофазы, аморфного глинистого вещества, частиц кокса [5, 11, 19, 20, 37]. Высокая степень аморфизации структуры, преобладающее содержание стекловидных частиц тонких фракций, наличие силикатов и алюминатов кальция и свободных оксидов кремнезема и глинозема обуславливают активность золы, т. е. ее способность при затворении водой взаимодействовать с гидроксидом кальция с образованием гидросиликатов, гидроалюминатов и других комплексных соединений, обеспечивающих структурообразование искусственного камня. Формирование скоплений подобного искусственного камня можно наблюдать в устье Главной канавы стоков (по которой осуществляется основной сброс сточных вод г. Темиртау и его промышленных предприятий), когда из-за резкого снижения уровня воды в р. Нура верхняя часть накопившихся здесь техногенных илов перешла в полузатопленное состояние. Следует подчеркнуть, что муллит обладает высокой химической устойчивостью и не менее высокой механической прочностью.

В илах идентифицированы также портландит (как отмечалось выше, типичный минерал цемента) и гидрокалоумит, очень редкий и обычно сопутствующий портландиту минерал (образуется за счет редких силикатов кальция типа ларнита, встречающегося в известняках). Оба минерала присутствуют в отходах карбидного производства завода «Карбид» и в материале гидрозолоотвалов ГРЭС-1. Известно, что при взаимодействии с водой окиси кальция – важного компонента золоотвалов, в значительных количествах образует портландит [11], а за счет процессов гидролиза и гидратации в золоотвалах может формироваться гидрокалоумит. Не исключено, что их образование происходит и непосредственно в русле реки после осадения техногенного материала.

В составе техногенных илов обнаружены также таумасит (присутствующий в значительных количествах в отходах карбидного производства, очень редкий минерал, для которого обычно характерны землистые либо скрытокристаллические массы, игольчатые, спутанно-волокнистые агрегаты) и кальцит (являю-

шийся, как известно, основным минералом известняков; он также используется в производстве цемента и в качестве флюса в металлургии). Не исключено, что наличие больших количеств кальцита в эпифитовзвеси свидетельствует об активно идущих процессах его вторичного образования непосредственно на макрофитах, но, скорее всего, указывает на значимое поступление этого минерала в составе взвеси сбрасываемых в реку сточных вод. Очень типично присутствие во всех видах изученных техногенных отложений глинистых минералов - смектитов, иллита, каолинита.

Данная ситуация, когда основная вещественная матрица илов формируется в результате поступления в реку больших количеств золы угля и другого ископаемого топлива, не такая уж редкая на практике. Например, в р. Кореди, в р. Тава и одноименное водохранилище (Мадхья Прадеш, Индия) смывается до 800-1000 т золы в сутки от расположенных здесь двух электростанций [36], что коренным образом изменило процессы осадконакопления в водных объектах и обусловило интенсивное загрязнение последних широкой группой химических элементов (Fe, Mn, Cu, Zn, Co, Ca, Mg, Na, K), а также привело к коренной перестройке донных биоценозов и исчезновению из бентосного сообщества некоторых видов организмов.

#### Особенности гранулометрического состава техногенных илов

Изучение гранулометрического состава современных русловых отложений, формирующихся в зоне влияния Подольска, показало, что на участке реки выше города (местный фон) в них резко преобладает фракция мелкого песка (> 53%), глинистых частиц очень мало (0,4%), доля физической глины также невелика (0,9%) (табл. 8). Данный состав, очевидно, в существенной мере отражает естественную дифференциацию аллювия русловыми процессами в природных условиях.

В пределах центральной части города в отложениях Пахры наблюдается практически равномерное соотношение фракций крупного песка, мелкого песка и крупного алеврита. По сравнению с фоном отмечается увеличение содержания крупного песка, крупного алеврита и физической глины, что является следствием поступления твердого материала с поверхностным стоком с территории города (грубые фракции наносов) и сточными водами (тонкие фракции) предприятий.

Таблица 8. Гранулометрический состав речных отложений в зоне влияния г. Подольска, %

Участок реки Пахры	Размер фракций, мм						
	2-1 (грубый песок)	1-0,25 (крупный песок)	0,25-0,10 (мелкий песок)	0,10-0,01 (крупный алеврит)	0,01-0,005 (мелкий алеврит)	<0,005 (глина)	<0,01 (физическая глина)
Выше города*	3	29,8	43,1	23,2	0,5	0,4	0,9
Центр города**	1,5	28,5	32,5	30,2	4,9	2,4	7,3
Устье руч. Черного**	1,4	17,6	36,3	38,3	4,9	1,5	6,4
3 км ниже Черного**	0,8	6,7	31,3	45,1	8,7	7,4	16,1
Ниже авто-моста**	2	25,1	36,1	25,1	7,1	4,6	11,7
9 км ниже Черного**	0,5	28,3	30,2	28,8	7,6	4,6	12,2
Щербинская свалка**	0,4	17,1	28,3	43,1	6,8	4,3	11,1
25 км ниже города**	1,5	15,2	38,2	39,2	3,1	2,8	5,9

Примечание. Основной объем промышленных и бытовых сточных вод сбрасывается в Пахру по руч. Черному; \* типичные русловые пески (местный фон); \*\* техногенные илы.

Донные отложения устьевой зоны руч. Черного, принимающего бытовые и промышленные сточные воды, в основном сложены частицами мелкого песка и крупного алеврита, а по сравнению с предыдущими участками здесь заметно возрастает количество частиц, отвечающих физической глине. Формирование подобного гранулометрического спектра явно обусловлено гидравлическим осаждением техногенной взвеси (преимущественно алевритовой размерности) из-за изменения скоростных характеристик потока сточных вод вследствие подпора его речными водами.

На участке русла реки ниже устья Черного, где происходит наиболее активное накопление техногенных илов, часто практически полностью выстилающих русло и отличающихся высокими концентрациями многих химических элементов, отмечается резкое снижение доли крупного песка (до 8,7% против 17-29% на предыдущих участках), заметное увеличение более тонких частиц, в том числе глинистых. В пределах этого участка активное выведение техногенной взвеси из водного потока связано как с гидравлическим осаждением грубых частиц, так и с процессами коагуляции тонкой взвеси. Возрастание доли крупного песка на следующем участке русла отчасти, видимо, связано с дорожно-строительными работами. Кроме того, когда-

то здесь располагалась плотина, что также способствовало накоплению песчаных наносов в русле реки. Тем не менее техногенные илы и здесь характеризуются высоким содержанием физической глины. В районе Щербинской свалки состав илов меняется главным образом за счет снижения доли крупного песка и увеличения мелкого алеврита (вынос мелкозема с территории свалки). В конце изученного участка русла Пахры в донных отложениях наблюдается уменьшение доли тонких частиц и заметное увеличение фракций мелкого песка. Установленные различия в составе техногенных илов и фонового аллювия достаточно надежно отражаются в значениях гранулометрических показателей, особенно медианного диаметра ( $Q_{50}$ ) и коэффициента глинистости ( $K_{ГЛ}$ ) (табл. 9).

Анализ распределения изученной группы металлов в гранулометрическом спектре речных отложений показал, что техногенные геохимические аномалии, фиксируемые техногенными илами, образовались за счет увеличения концентраций химических элементов практически во всех выделенных фракциях (табл. 10). В сравнении с местным фоном для никеля, цинка, олова, свинца, серебра, железа аномалии наиболее интенсивно проявились в равной степени во фракциях менее 0,1 мм; несколько слабее – во фракции 0,25–0,1 мм. Слабоинтенсивные аномалии ванадия и титана характерны для всех фракций. Практически для всех изученных металлов прослеживается закономерное увеличение их абсолютных содержаний от крупного песка к глинистым частицам, достигая, как правило, максимума в самой тонкой фракции – менее 0,005 мм. Тем не менее, в целом, абсолютные концентрации большинства металлов во фракциях 0,01–0,005 и < 0,005 мм различаются незначительно, т. е. данные фракции являются основными концентраторами поллютантов.

Таблица 9. Гранулометрическая характеристика речных отложений

Участок реки	Гранулометрические показатели				
	$Q_{10}$	$Q_{25}$	$Q_{75}$	$Q_{90}$	$Q_{90}/Q_{10}$
Выше города	0,02	0,051	0,280	0,50	25
Центр города	0,008	0,025	0,212	0,40	50
Устье руч. Черного	0,0095	0,025	0,130	0,38	40
3 км ниже Черного	0,0025	0,012	0,073	0,13	52
Ниже моста	0,0062	0,029	0,020	0,45	72,6
9 км ниже Черного	0,005	0,020	0,190	0,45	90
Щербинская свалка	0,0062	0,017	0,091	0,43	69,4
25 км ниже города	0,01	0,023	0,092	0,44	44

Окончание табл. 9

Участок реки	$Q_{50}$	$S_0$	$K_{ГЛ}$	Гранулометрический класс	
				по М.В. Кленовой*	по Н.М. Страхову**
Выше города	0,101	5,5	0,01	Песок	Песок
Центр города	0,075	8,5	0,08	Илистый песок	Крупноалевритовый ил
Устье Черного	0,062	5,2	0,07	---//---	---//---
3 км ниже Черного	0,031	6,1	0,19	Песчанистый ил	Мелкоалевритовый ил
Ниже моста	0,075	6,9	0,13	---//---	Крупноалевритовый ил
9 км ниже Черного	0,069	7,6	0,14	---//---	---//---
Свалка	0,043	5,4	0,13	---//---	Мелкоалевритовый ил
25 км ниже города	0,058	4,0	0,06	Илистый песок	Крупноалевритовый ил

Примечание. Медианный диаметр ( $Q_{50}$ ) аллювия рек Смоленско-Московской возвышенности в среднем составляет 0,43 мм, изменяясь от 0,01 до 1,60 мм, что отражает неоднородность и плохую сортировку моренных отложений [21];  $S_0$  – коэффициент отсортированности (его значения > 4,5 указывают на низкую отсортированность отложений);  $K_{ГЛ}$  – коэффициент глинистости (соотношение количества физической глины, т. е. фракции < 0,01 мм, к количеству остальных фракций); \* по относительному содержанию физической глины; \*\* по среднему (медианному) диаметру.

Рассмотрение баланса распределения химических элементов, связанных с разными фракциями илов, показало, что практически для всех элементов основным носителем являются алевритовые частицы (0,1–0,01 мм), с которыми связано до 50–70% валового содержания. Это, с одной стороны, обусловлено высокой долей данной фракции в отложениях, с другой, – высокими абсолютными концентрациями в ней металлов. На долю фракций песка приходится в среднем по 10–20% валового содержания химических элементов, накапливающихся в илах.

Своеобразно распределение ртути, для которой интенсивные аномалии характерны для фракций песка, и хрома, наиболее концентрирующегося (по сравнению с фоновыми отложениями) во фракции 0,25–0,1 мм. Ранее было установлено [21], что в нативных условиях на крупных частицах техногенного ила (при исследовании под бинокулярном) наблюдается присутствие (налипание) тонких илесто-коллоидных частиц, что, очевидно, является следствием сорбционных процессов. Не исключено, что эти частицы (не разрушенные в ходе гранулометрического анализа, осуществляемого, как говорилось, без использования жестких реагентов), обогащенные ртутью, и создают отмеченный эффект, в результате чего интенсивность проявле-

ния аномалий в крупных фракциях илов более значительна. Кроме того, определенная часть крупных частиц техногенных илов формируется в результате коагуляции тонкой взвеси (обогащенной ртутью), что особенно характерных для ближних зон воздействия источников загрязнения [29].

Таблица 10. Распределение металлов в различных гранулометрических фракциях техногенных илов на участке реки Пахры ниже г. Подольска

Ме-талл	Фракция, мм									
	1-0,25		0,25-0,10		0,10-0,01		0,01-0,005		<0,005	
	$X$	$K_c$	$X$	$K_c$	$X$	$K_c$	$X$	$K_c$	$X$	$K_c$
Al	18400	0,8	26900	0,9	52800	1,8	75600	1,8	87000	3,3
Mn	250	3,1	344	2,5	448	1,2	492	0,8	472	0,7
Fe	42800	24	57400	24	85800	36	18200	8,7	15400	24
Ti	305	0,9	663	2,7	2617	1,9	3414	1,5	4671	1,2
V	28	2,8	24	1,7	45	1,4	70	1,2	116	1,3
Cr	108	6,8	110	37	350	6	429	5,1	449	7,5
Ni	86	2,8	97	7,5	154	6,2	274	7	353	7,5
Zn	218	1,8	321	2,8	422	3,5	511	2,1	570	2,6
Ag	1,99	3	1,58	4	3,7	8	4,7	6,7	4,6	5,8
Sn	66	226	58	18	143	24	256	13,5	261	8,2
Hg	0,083	83	0,04	40	0,26	5,2	0,22	1,1	0,22	1,1
Pb	182	6,5	212	163	431	196	761	23	914	15,8

Примечание.  $X$  - содержание во фракции, мг/кг;  $K_c$  - коэффициент концентрации относительно содержания в конкретных фракциях отложений выше города (местного фона)

Повышенные количества многих химических элементов в более тонких фракциях неплохо коррелируют с обогащенностью последних железом и алюминием. Это указывает, очевидно, на существенную роль в осаждении металлов из водного потока процессов сорбции коллоидными гидроксидами железа и алюминия. Тем не менее, особенно в ближней к источнику загрязнения зоне, большое значение имеет гидравлическое осаждение взвешенных частиц техногенного происхождения. По мере удаления от города за счет процессов естественной дифференциации осадочного материала и определенного изменения физико-химических условий осадконакопления происходит перераспределение элементов между различными фракциями и компонентами отложений и водной массы.

#### Искусственные частицы в техногенных илах

В техногенных илах, развитых в р. Пахре и р. Нуре, присутствуют (обнаруживаемые визуально или под бинокляром) многочисленные мелкие частицы шлака, бетона, искусственных битумных материалов, других строительных материалов, пластмассы и полиэтилена, а также угольная зола и пепел, кусочки резины, очень мелкие металлические фрагменты, обломки стекла и т. д., которые с полным основанием могут считаться составной и характерной частью данного типа отложений.

Так, изучение состава речных отложений в районах крупных промышленно-урбанизированных центров Урала показали [35], что в зонах влияния угольных шахт в отложениях встречаются пепел, магнитные сферулы, частицы угля и шлаки; в районе металлургических заводов - металлические фрагменты, специфические шлаки, стекло, магнитные сферулы. В русловых отложениях р. Свислочи (Беларусь) были выявлены обломки щелочного стекла, не образующегося в природных условиях, источником которых являлась шлаковая подсыпка берегов реки [17].

В современных отложениях озера Эри установлено двадцать типов частиц техногенного происхождения, которые встречались практически на всей акватории водоема [34]. Их типизация осуществлялась на основе цвета, блеска, формы, структуры, химического состава и других отличительных черт. Установлено, что одни частицы поступают из различных промышленных источников (наибольшее количество образуется при сжигании ископаемого угля и автомобильного топлива), другие - представляют собой частички недожженного угля, причем некоторые из них схожи с частицами, образующимися при высокотемпературной трансформации пирита. Исследования показали, что накопление антропогенных частиц в отложениях озера началось в начале XX в. В донных отложениях Азовского моря среднее содержание техногенного материала уже составляет 5,11% (табл. 11). Это связано с тем, что в твердом стоке рек наиболее крупных, впадающих в море, присутствуют существенные количества разнообразных частиц техногенного (в том числе, искусственного) происхождения (табл. 12). Значима также поставка указанных частиц в составе аэрозольного материала.

Таблица 11. Среднее содержание техногенного материала в донных отложениях Азовского моря, % [23].

Техногенные компоненты	Таганрогский залив	Открытая часть моря	Все море
Рудные обломки,	2,21	1,25	1,40
в т. ч. магнитные	0,03	0,02	0,02
Углистые частицы	1,78	1,07	1,08
Угليсто-графитовые частицы	1,11	1,35	1,31
Графитовые	0,54	0,07	0,14
Сажистые	0,47	0,21	0,25
Нефтепродукты	1,46	0,17	0,37
Шлаки	0,66	0,19	0,27
Кирпичная зола	0,33	0,06	0,10
Прочее	0,21	0,05	0,07
Всего	8,79	4,42	5,11

Таблица 12. Содержание техногенного материала в атмосферных аэрозолях и взвесьях рек Дон и Кубань, % [23]

Материал	Речная взвесь		Аэрозоль	
	Дон	Кубань	Мариуполь	Таганрог
Рудные частицы	2	0,5	5	8
Углистые частицы	1,6	4	3	4
Графитовые частицы	0,1	0,5	1,5	2
Оксиды и гидроксиды железа	0,7	редко	5	2
Сажистые частицы	1,2	3	2	2
Искусственные волокна	3,7	1,5	4	редко
Краска	редко	0,5	-	3
Нефтепродукты	2,7	1,5	3,5	1
Всего	12	11,5	24	22

Для техногенных илов типично присутствие асбестовых и искусственных волокон [27]. К сожалению, их концентрирование, распределение и поведение в речных отложениях практически не изучены. В то же время, например, большая удельная поверхность асбестовых волокон предопределяет их высокую адсорбционную активность. Особенно хорошо на волокнах асбеста сорбируются гидроксиды щелочных и щелочноземельных металлов, а также некоторые макроэлементы. Как правило, адсорбционная способность асбеста к катионам в 2–3 раза больше, чем к анионам. При длительном нахождении в воде хризотил-асбест набухает (тем больше, чем меньше длина волокон), при этом адсорбционная способность его заметно возрастает. Набухание, судя по всему, интенсифицирует ионный обмен. В обводненной среде асбестовые волокна способны присоединять и удерживать на своей поверхности частицы цемента, молотого песка, извести и т. д. Волокна асбеста достаточно легко образуют с водой суспензию и активно проявляют коллоидные свойства. В кислых растворах частицы хризотил-асбеста приобретают положительный, в щелочных - отрицательный заряд.

### Заключение

Таким образом, техногенные процессы трансформируют минеральный состав современных речных отложений. Указанная трансформация обусловлена особенностями минерального состава поступающего в реку осадочного материала и процессами, происходящими непосредственно в водотоке, что, в частности, подтверждается особенностями распределения таких образований, как карбонатные минералы и гидроокислы железа. Высокие содержания карбонатов и гидроокислов железа во многом предопределяют дальнейшие вторичные (диагенетические) преобразования техногенных илов и, соответственно, поведение связанных с ними химических элементов. Поступление сточных вод и поверхностного стока с освоенных территорий обуславливает также существенное преобразование гранулометрического состава русловых отложений, что главным образом проявляется в увеличении относительного содержания алевритовых и глинистых частиц в техногенных илах. Для многих химических элементов основным носителем в техногенных илах являются алевритовые частицы (0,1–0,01 мм), с которыми связано до 50–70% валового содержания поллютантов. Это, с одной стороны, обусловлено повышенной долей данной фракции в отложениях, с другой, – высокими абсолютными концентрациями в ней металлов. На долю фракций песка приходится в среднем по 10–20% валового содержания химических элементов, накапливающихся в илах.

В общем случае донным отложениям загрязненных рек (техногенным илам) свойственны техногенные минеральные ассоциации, состав которых отличается от терригенно-минеральных ассоциаций, характерных фоновому русловому аллювию. Техногенные минеральные ассоциации характеризуются пониженным содержанием кварца, роговой обманки, эпидота, полевых шпатов, существенно увеличенным количест-

вом карбонатных минералов, гидроокислов железа, лимонитизированных обломков и других аутигенных новообразований, апатита, дистена, присутствием глинистых минералов (может быть, новообразованного колломорфного глинистого вещества), муллита, портландита и других минералов, свойственных промышленным отходам, а также включениями техногенных (в том числе, искусственных) минеральных и органоминеральных частиц. Особенности петрохимического состава техногенных илов (прежде всего, пониженное количество кремнезема и повышенные содержания глинозема, оксидов кальция, натрия и железа) во многом обусловлены их минеральным составом. Техногенные илы представляют собой осадочные образования, характеризующиеся (в сравнении с фоновым русловым аллювием) низкой и весьма низкой химической зрелостью и находящиеся на стадии активного постседиментационного преобразования, которые в значительной мере связаны с трансформацией карбонатов и гидроокислов железа.

Накопление техногенных илов в руслах и долинах рек в зонах влияния городов и промышленных предприятий с утилитарной точки зрения следует рассматривать как своего рода несанкционированное размещение в окружающей среде опасных отходов. В критических ситуациях необходимы изъятие и утилизация илов, являющихся концентраторами основной массы присутствующих в водотоках освоенных районов загрязняющих веществ, что требует установления масштабов распространения таких отложений, изучения их вещественного состава и разработки соответствующих технологий очистки.

### Литература

1. *Абрамович Д.И.* Река Пахра как пример малых рек. – М.: Изд-во АН СССР, 1946. – 52 с.
2. *Батурин В.П.* Петрографический анализ геологического прошлого по терригенным компонентам. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1947. – 338 с.
3. *Бергер М.Г.* Терригенная минералогия. – М.: Недра, 1986. – 227 с.
4. *Добровольский В.В.* Гипергенез четвертичного периода. – М.: Мысль, 1966. – 238 с.
5. Золошлаковые материалы и золоотвалы. – М.: Энергия, 1978. – 295 с.
6. *Казанский Ю.П.* Выветривание и его роль в осадконакоплении. – М.: Наука, 1969. – 127 с.
7. *Кузнецов В.А.* Геохимия аллювиального литогенеза. – Минск: Наука и техника, 1973. – 280 с.
8. *Лазаренко А.А.* Литология аллювия равнинных рек гумидной зоны (на примере Днепра, Десны и Оки). – М.: Наука, 1964. – 236 с.
9. *Ляхович В.В.* Акцессорные минералы горных пород. – М.: Недра, 1979. – 296 с.
10. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения поверхностных водотоков химическими элементами / Ю.Е. Сагт, Л.Н. Алексинская, Е.П. Янин. – М.: ИМГРЭ, 1982. – 74 с.
11. *Огородникова Е.Н., Ковылин Ю.А., Николаева С.К.* Минеральный состав зол гидроудаления Березовской ГРЭС – источник загрязнения природной среды // *Геоэкология*, 1994, № 2, с. 58–66.
12. *Петтиджон Ф.Дж.* Осадочные породы: Пер. с англ. – М.: Недра, 1981. – 751 с.
13. *Петтиджон Ф., Поттер П., Сивер Р.* Пески и песчаники: Пер. с англ. – М.: Мир, 1976. – 535 с.
14. Ресурсы поверхностных вод СССР. Верхне-Волжский район, т. 10, кн. 1. – М.: Гидрометеиздат, 1973. – 476 с.
15. Руководство по изучению новейших отложений. – М.: Изд-во МГУ, 1976. – 310 с.
16. *Рухин Л.Б.* Основы литологии. – Л.: Недра, 1969. – 703 с.
17. *Савченко В.В.* Эколого-геохимическое изучение аллювиальных осадков Березины и Свислочи: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. – Минск, 1993. – 22 с.
18. *Савченко В.В., Шиманович С.Л., Колосова Т.Е., Мурашко Л.И.* Техногенные образования в современном аллювии Березины // *Літасфера*, 1995, № 3, с. 92–97.
19. Состав и свойства золы и шлака ТЭС. Справ. пособие. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 285 с.
20. *Стицын А.Н., Фекличев В.Г.* Исследование химико-минерального состава и свойств высококремнистой золы золоотвалов ТЭЦ // *Зап. ВМО*, 1995, № 3, с. 86–95.
21. Сток наносов. Его изучение и географическое распределение. – Л.: Гидрометеиздат, 1977. – 240 с.
22. *Страхов Н.М., Бродская Н.Г., Князева Л.М. и др.* Образование осадков в современных водоемах. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – 791 с.
23. *Хрусталева Ю.П., Беспалова Л.А., Ивлиева О.В.* Роль техногенного материала в седиментогенезе Азовского моря // *Литология и полезные ископаемые*, 1999, № 1, с. 3–11.
24. *Янин Е.П.* Экогеохимическая оценка загрязнения реки Нуры ртутью. – М.: ИМГРЭ, 1989. – 43 с.
25. *Янин Е.П.* Ртуть в окружающей среде промышленного города. – М.: ИМГРЭ, 1992. – 169 с.
26. *Янин Е.П.* Геохимические особенности и экологическое значение техногенных илов // *Разведка и охрана недр*, 1994, № 5, с. 35–37.
27. *Янин Е.П.* Асбест в окружающей среде. (Введение в экологическое асбестоведение). – М.: ИМГРЭ, 1997. – 176 с.
28. *Янин Е.П.* Техногенез и эколого-геохимические аспекты аллювиального осадконакопления в реках промышленно-урбанизированных территорий // *Геологический вестник Центральных районов России*, 1999, № 4, с. 41–47.
29. *Янин Е.П.* Техногенные речные илы в зоне влияния промышленного города (формирование, состав, геохимические особенности). – М.: ИМГРЭ, 2002. – 100 с.
30. *Янин Е.П.* Русловые отложения равнинных рек (геохимические особенности условий формирования и состава). – М.: ИМГРЭ, 2002. – 139 с.

31. Янин Е.П. Эпифитовзвесь - новый индикатор загрязнения речных систем тяжелыми металлами. – М.: ИМГРЭ, 2002. – 51 с.
32. Янин Е.П. Техногенные геохимические ассоциации в донных отложениях малых рек (состав, особенности, методы изучения). – М.: ИМГРЭ, 2002. – 52 с.
33. Янин Е.П. Тяжелые металлы в малой реке в зоне влияния промышленного города. – М.: ИМГРЭ, 2003. – 89 с.
34. Dell C.I., Booth W.G. Anthropogenic particles in the sediments of Lake Erie // J. Great Lakes Res., 1977, 3, № 3–4, p. 204–210.
35. Maximovich N.G., Menshikova E.A., Osovetskiy B.M. Hard technogenic components in alluvium and environment // The 31<sup>st</sup> International Geological Congress, Rio de Janeiro, Aug. 6-17, 2000: Congress Program. – Rio de Janeiro: Geol. Surv., 2000, p. 4355.
36. Philips S., Sankaran Unni K. Content of metallic ions in water and sediments in reservoirs and rivers receiving ash effluents from thermal power stations // Trop. Ecol., 1991, 32, № 2, p. 236–244.
37. Prasad B., Banerjee N.N., Dhar B.B. Environmental assessment of coal ash disposal: A review // J. Sci. and Ind. Res., 1996, 55, № 10, p. 772–780.