

**ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ  
ГЕОЛОГИЯ И РАЗВЕДКА  
2009, № 3**

---

**ГЕОЭКОЛОГИЯ**

УДК 551.4+550.4

*E.P. ЯНИН*

**ОСОБЕННОСТИ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА  
РУСЛОВЫХ ОТЛОЖЕНИЙ МАЛОЙ РЕКИ  
В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ГОРОДА**

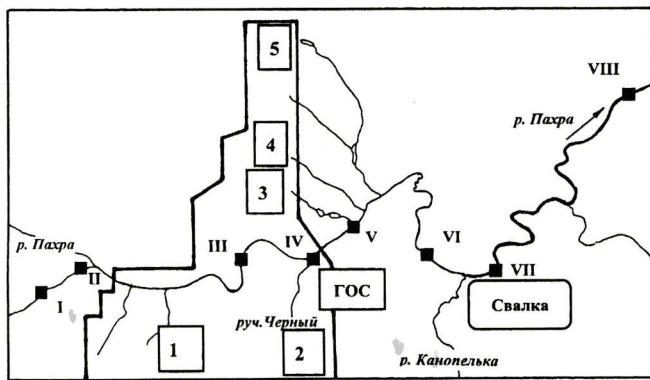
В русле р. Пахры, принимающей сточные воды и поверхностный сток с городских территорий, формируется новый тип отложений — техногенные илы, которые отличаются от фонового аллювия более высоким содержанием алевритовых и глинистых фракций, значительной связностью, плохой сортировкой слагающих их частиц, петрохимическим составом. Илы интенсивно аккумулируют тяжелые металлы, нефтепродукты и бенз(а)пирен, содержания которых многократно превышают фон. Основным концентратом химических элементов в илах являются глинистые частицы, главным носителем — фракция алеврита.

**Ключевые слова:** гранулометрический состав; русловые отложения; техногенные илы; фоновый аллювий.

Гранулометрический состав является важной характеристикой аллювиальных отложений, поскольку влияет на их физические и химические свойства, минералогические и геохимические особенности. В природных условиях русловой аллювий формируется преимущественно в результате механического накопления и переотложения осадочного материала, источником которого служат почвы и горные породы, слагающие водосборный бассейн. В промышленно-урбанизированных районах в аллювиальном седиментогенезе участвуют значительные массы вещества, образующегося в результате хозяйственной деятельности человека и поступающего в реки со сточными водами и поверхностным (талым, дождевым, поливочно-моечным) стоком с освоенных территорий. Это отражается на процессах осадконакопления и приводит к образованию в реках нового вида речных отложений — техногенных илов [14, 15]. Участки с развитием подобных отложений, вертикальная мощность которых изменяется от 0,2—0,5 до 2—3,5 м, прослеживаются в руслах малых рек на многие километры. Именно техногенные илы — основные концентраторы загрязняющих веществ и во многом определяют эколого-геохимические особенности рек в городских ландшафтах. Интенсивность накопления и особенности распределения поллютантов в илах и руслобразующая значимость последних в существенной мере зависят от размера слагающих их частиц, что определяет необходимость изучения гранулометрического состава со-

временных речных отложений, формирующихся в зонах техногенного загрязнения.

Исследования были выполнены на р. Пахре в окрестностях г. Подольска — крупного промышленного центра Московской области (рис. 1). Режим и водность Пахры, которая относится к восточно-европейскому типу рек с преимущественно снеговым питанием, типичны и нормальны для малых рек Центральной России [1, 10]. Средний многолетний годовой расход воды в р. Пахре в створе ниже Подольска составляет  $9,95 \text{ м}^3/\text{s}$ , наименьший —  $5,47 \text{ м}^3/\text{s}$ , наибольший —  $19,0 \text{ м}^3/\text{s}$ . В последние десятилетия в водном питании Пахры важную роль играют отводимые в нее сточные воды, составляющие (в зависимости от водного режима и водообильности реки) от 8—10 до 25—30% от объема речного стока (в 1970—1980-х гг. доля сточных вод в общем стоке Пахры достигала 40—50%). Основной сброс в Пахру сточных вод, образующихся в пределах г. Подольска, осуществляется с городских очистных сооружений (ГОС) по руч. Черному. Небольшой объем сточных вод поступает в Пахру по системе малых водотоков, впадающих в нее выше и ниже руч. Черного. Кроме того, источник поставки в реку техногенного осадочного материала — поверхностный сток с городской территории. Ниже г. Подольска, на правом берегу Пахры, расположена ныне рекультивируемая Щербинская свалка бытовых и промышленных отходов, которая дренируется р. Канопелькой и (до начала рекультивации) временными водотоками.



**Рис. 1. Схема окрестностей г. Подольска:** 1–5 – основные промышленные зоны (1–4 – г. Подольск, 5 – г. Щербинка); ГОС – очистные сооружения г. Подольска; I–VIII – участки отбора проб русловых отложений; б – границы промышленно-урбанизированной территории

Отбор проб русловых отложений (слой 0–20 см) осуществлялся в хлопчатобумажные мешочки пластиковым совком (фоновый аллювий, представленный типичными русловыми песками) и буром ТБГ-1 (техногенные илы) на восьми участках русла р. Пахры (участки I–VIII, рис. 1): в 1 и 2 км выше г. Подольска (местный фон), центре города, устье руч. Черного, 2, 9, 12 (створ Щербинской свалки) и 25 км ниже руч. Черного. На каждом из указанных участков проба отложений формировалась из 3–5 частных образцов, отобранных вблизи заданной точки опробования, расположенной в 1–2 м от уреза воды. Пробы осадков сточных вод (ОСВ), образующихся на ГОС в ходе очистки сточных вод и являющихся своеобразным аналогом техногенных илов, отбирались буром ТБГ-1 из иловых карт (слой 10–50 см от поверхности карты), расположенных на правом берегу реки в районе устья руч. Черного. Всего отобрано пять проб ОСВ (из пяти иловых карт), которые на месте объединялись в одну представительную пробу. Общая масса каждой пробы осадочных образований составляла не менее 1 кг. Пробы высушивались на воздухе (вне зоны воздействия солнечных лучей), материал каждой пробы тщательно перемешивался, затем отбиралась навеска на гранулометрический анализ. Оставшаяся часть пробы просеивалась через сито с диаметром отверстий в 1 мм и квартовалась с целью отбора навесок для последующих химических исследований. Для получения образца взвеси сточных вод в устьевой зоне руч. Черного (его сток в основном формируется за счет сточных вод) была отобрана пробы воды объемом 60 л, которая отставалась в течение суток в белом полиэтиленовом баке; затем вода сливалась при помощи сифона; твердый осадок (техногенная взвесь) высушивался на воздухе и помещался в пакет из кальки. Гранулометрический анализ отложений выполнялся водно-ситовым методом [11]. Обработка его результатов осуществлялась по общепринятым приемам [2, 8, 11]. Компоненты петрохимического состава отложений определялись по стандартным методикам; тяжелые металлы – атомно-абсорбционным методом, нефтепродукты и бенз(а)пирен – спек-

трофлуориметрическим анализом при низких температурах. Результаты всех анализов даются на сухую массу образца.

Гранулометрический спектр руслового аллювия р. Пахры на участке выше г. Подольска (местный фон) характеризуется следующими показателями: доля фракции мелкого песка составляет 43,1–47,2%, среднего песка – 28,8–29,8%, крупного алеврита – 18,7–23,2%, глинистых частиц очень мало (0,4–0,6%), количество физической глины (фракции < 0,01 мм) также невелико (0,9–1,3%) (табл. 1). Характерно, что в моренных отложениях и покровных суглинках Московской области, играющих в этом регионе важную роль в питании рек осадочным материалом, породообразующими являются мелко- и тонкозернистые пески и алевриты. Например, в моренных отложениях, развитых в пределах Смоленско-Московской и Теплостанской возвышенностей и Москворецко-Окской равнины, доминирует фракция 0,25–0,05 мм (34–53%) [9]. Таким образом, можно считать, что гранулометрический спектр фонового аллювия в существенной мере определяется составом размываемых пород и отражает естественную дифференциацию осадочного материала русловыми процессами.

В русловых отложениях, развитых на участке р. Пахры в пределах центральной части города, происходит заметное (по сравнению с местным фоном) увеличение доли крупного и мелкого алеврита и глины (табл. 1). Последнее, безусловно, является следствием поступления твердого материала со стоками предприятий, расположенных в центральной промышленной зоне города. Например, согласно [5], в шламах промышленных сточных вод преобладают (более 90%) частицы размером 0,1–0,01 мм, что позволяет предположить их значительное присутствие в составе взвеси сбрасываемых производственных стоков.

В устьевой зоне руч. Черного формирование современных русловых отложений в существенной мере обусловлено гидравлическим осаждением поступающего техногенного осадочного материала, что связано с изменением скоростных характеристик потока сточных вод вследствие подпора его речными водами. В гранулометрическом спектре ОСВ доминирует фракция крупного алеврита (0,10–0,01 мм), поэтому в составе техногенной взвеси ее содержание также велико, что находит отражение в гранулометрическом составе русловых отложений устьевой зоны ручья, отличающихся высокими содержаниями данной фракции. Показательно, что доля частиц, отвечающих размерности физической глины (фракции < 0,01 мм), здесь также достаточно велика.

На участке р. Пахры ниже устья руч. Черного прослеживается зона активного накопления техногенных илов, отличающихся снижением доли крупного песка (до 6,7% против 17,6–28,5% на предыдущих участках) и заметным увеличением количества алевритовых и глинистых частиц (табл. 1). Согласно [3], в составе взвеси сточных вод промышленного города, сбрасываемых в водо-

Таблица 1

## Гранулометрический состав русловых отложений р. Пахры и ОСВ г. Подольска, %

Место отбора проб	Фракция, мм						
	> 1 1	1—0,25 2	0,25—0,10 3	0,10—0,01 4	0,01—0,005 5	<0,005 6	<0,01 7
<b>Типичный русловой аллювий (местный фон)</b>							
Выше города	4	28,8	47,2	18,7	0,7	0,6	1,3
Выше города	3	29,8	43,1	23,2	0,5	0,4	0,9
<b>Техногенные илы (зона загрязнения)</b>							
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
2 км ниже ручья	0,8	6,7	31,3	45,1	8,7	7,4	16,1
9 км ниже ручья	0,5	28,3	30,2	28,8	7,6	4,6	12,2
12 км ниже ручья	0,4	17,1	28,3	43,1	6,8	4,3	11,1
25 км ниже ручья	1,5	15,2	38,2	39,2	3,1	2,8	5,9
<b>Осадки сточных вод</b>							
ГОС г. Подольска	1,7	16,8	8,1	56,7	5,5	11,2	16,7

Примечание. 1 — крупный; 2 — средний; 3 — мелкий песок; 4 — крупный; 5 — мелкий алеврит; 6 — глина; 7 — физическая глина.

токи, преобладают (до 87%) частицы размером больше 0,03 мм, а по данным [13], в ОСВ, образующихся на городских очистных сооружениях, доминируют (65—90%) частицы размером менее 0,15 мм. В нашем случае ОСВ г. Подольска также отличаются высоким содержанием глинистых (< 0,005 мм) и особенно мелкоалевритовых (0,10—0,01 мм) частиц. Все это, безусловно, и определяет повышенное содержание алевритовой и глинистой фракций в формирующихся на этом участке речного русла техногенных илах.

Заметное увеличение доли крупного песка в русловых отложениях на следующем участке Пахры во многом обусловлено геоморфологическими факторами, способствующими осаждению более грубых фракций переносимого водным потоком осадочного материала (расширение долины реки, выполнивание продольного профиля русла, наличие меандров и островов). Левобережные ручьи, впадающие в Пахру в пределах рассматриваемого участка, дренируют территории, где осуществляются строительные работы и функционируют предприятия по производству стройматериалов, что определяет поступление в реку более крупного по размеру осадочного материала. Тем не менее техногенные илы, развитые на этом участке речного русла, сохраняют свое гранулометрическое своеобразие, отличаясь от фонового аллювия более высокими содержаниями мелкого алеврита и глины.

В зоне влияния Щербинской свалки гранулометрический состав техногенных илов меняется в основном за счет снижения доли крупного песка и заметного увеличения содержания мелкого алеврита (табл. 1). Это вероятно, следствие выноса мелкозема с территории свалки и интенсивной аккумуляции осадочного материала, поступающего с очистных сооружений г. Подольска. В конце изученного отрезка р. Пахры в русловых отложениях закономерно наблюдается уменьшение количества

тонких частиц и увеличение доли мелкого песка (доминирующего в фоновом русловом аллювии), что обусловлено процессами переотложения техногенных отложений и их разубоживанием природным осадочным материалом. В то же время содержание физической глины в развитых здесь илах существенно выше, нежели в фоновом аллювии, что подчеркивает их литологическое своеобразие. Пространственное распределение тонких частиц (особенно физической глины) в современных русловых отложениях надежно фиксирует зону воздействия города на водоток (рис. 2). По соотношению основных гранулометрических фракций (песка, алеврита и глины) техногенные илы, резко отличающиеся от фонового аллювия, близки к ОСВ г. Подольска, что свидетельствует о ведущей роли поступающего со сточными водами осадочного материала в их формировании (рис. 3).

Отмеченные различия в составе фонового аллювия и техногенных илов, а также пространственная трансформация гранулометрического спектра по-

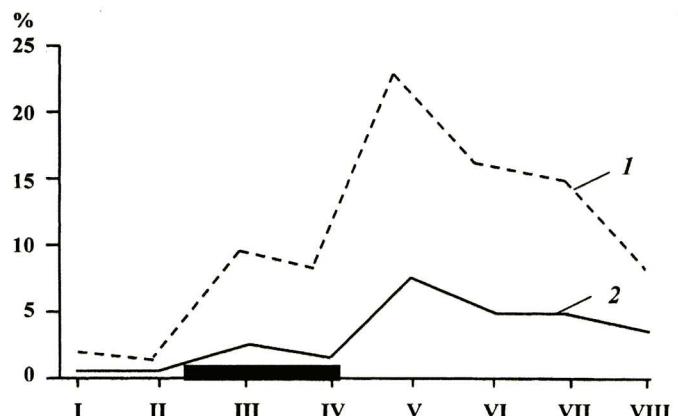


Рис. 2. Распределение физической глины (1) и фракции глины (2) в русловых отложениях р. Пахры в зоне влияния г. Подольска; I—VIII — участки отбора проб русловых отложений; чёрный прямоугольник — промышленно-урбанизированная территория

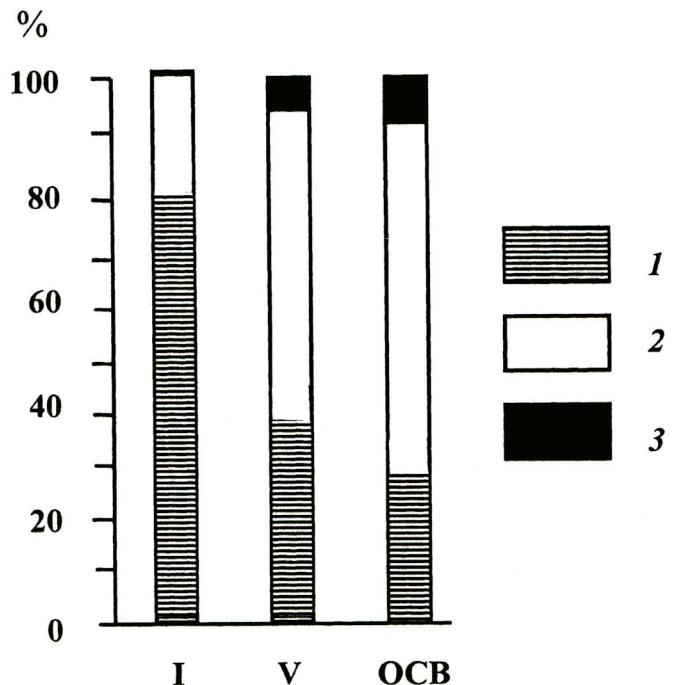


Рис. 3. Соотношение основных гранулометрических фракций в фоновом аллювии (участок I), техногенных илах (V) и осадках сточных вод (OCB): 1 — песок; 2 — алеврит; 3 — глина

Таблица 2

Гранулометрические показатели русловых отложений р. Пахры и ОСВ г. Подольска

Место отбора проб	$Q_{50}$	$Md$	$S_o$	$S_k$	$K_{ГЛ}$
<b>Русловые отложения</b>					
Выше города	0,101	0,33	3,8	1,63	0,01
Центр города	0,075	0,14	8,5	0,95	0,08
Устье руч. Черного	0,062	0,21	5,2	0,86	0,07
2 км ниже ручья	0,031	0,13	6,1	0,88	0,19
9 км ниже ручья	0,069	0,24	9,5	0,79	0,14
12 км ниже ручья	0,043	0,18	5,4	0,86	0,13
25 км ниже ручья	0,058	0,20	4,0	0,62	0,06
<b>Осадки сточных вод</b>					
ГОС г. Подольска	0,080	0,17	2,3	1,16	0,20

П р и м е ч а н и е.  $Q_{50}$  — медианный диаметр, мм;  $Md$  — средний арифметический диаметр, мм;  $S_o$  — коэффициент сортировки частиц;  $S_k$  — коэффициент асимметрии;  $K_{ГЛ}$  — коэффициент глинистости (отношение содержания физической глины к количеству остальных фракций).

следних, хорошо иллюстрируются значениями гранулометрических показателей (табл. 2). Например, средний (медианный) диаметр  $Q_{50}$  фонового аллювия р. Пахры превышает 0,1 мм, тогда как аналогичный показатель для техногенных илов изменяется в пределах 0,031—0,075 мм. Характерно, что средний (медианный) диаметр аллювия рек Смоленско-Московской возвышенности в среднем составляет 0,43 мм, что отражает неоднородность и плохую сортировку моренных отложений, играющих важную роль в формировании аллювиальных отложений [12]; медианный диаметр типичного

руслового аллювия р. Оки, представленного среднезернистыми песками, находится в пределах 0,33—0,46 мм [7]. Средний арифметический диаметр  $Md$  фонового аллювия р. Пахры составляет 0,32—0,33 мм, тогда как для техногенных илов его значения изменяются от 0,13 до 0,24 мм. Техногенные илы отличаются от фонового аллювия существенно более высокими значениями коэффициента глинистости. Толкование величины  $S_o$  (коэффициента сортировки частиц), как известно, допускает некоторую условность [2, 8]. Согласно П.Д. Траскому, отложения считаются хорошо отсортированными при  $S_o < 2,5$  и плохо — при  $S_o > 4,5$  [2]. Очевидно, что в нашем случае фоновый аллювий характеризуется средней сортировкой, а техногенные илы отличаются плохой сортировкой.

В соответствии с классификациями осадочных образований, в основу которых положены значения медианного диаметра (Н.М. Страхов) и относительное содержание физической глины (М.В. Кленова) [8], фоновый аллювий р. Пахры представляет собой типичный песок, тогда как техногенный ил — это песчанистый ил или мелкоалевритовый (иногда крупноалевритовый) ил. В общем случае можно считать, что фоновый русловой аллювий — это преимущественно разнозернистые, неплохо отсортированные пески, характеризуемые как несвязанные грунты ( $Q_{50}$  существенно больше 0,05 мм); техногенные илы — это плохо сортированные песчанистые или алевритовые илы, представляющие собой связанные грунты ( $Q_{50}$  в ряде случаев не превышает 0,05 мм, а если и превышает, то незначительно). Повышенная связанность илов, обусловленная высокими содержаниями в них тонких частиц и органического вещества, значительно затрудняет размытие этих отложений, что предопределяет их участие в формировании относительно устойчивых форм руслового рельефа [4].

Хорошо известно, что распределение химических элементов в речных отложениях в существенной мере контролируется литологическими особенностями последних. Как правило, в ряду песок — алеврит — глина наблюдается уменьшение концентраций кремния и возрастание содержаний алюминия, других петrogenных элементов и особенно микроэлементов [6]. В большинстве случаев именно фракция глины является основным концентратором различных поллютантов (особенно тяжелых металлов), присутствующих в речных отложениях (табл. 3). Наличие в техногенных илах

Таблица 3

Распределение металлов в гранулометрическом спектре техногенных илов р. Пахры (2 км ниже устья руч. Черного), мг/кг

Металл	Фракция, мм				
	1—0,25	0,25—0,10	0,10—0,01	0,01—0,005	< 0,005
Алюминий	18400	26900	52800	75600	87000
Титан	305	663	2617	3414	4671
Никель	86	97	154	274	353
Цинк	218	321	422	511	570
Серебро	1,99	1,58	3,70	4,70	4,60
Свинец	182	212	431	761	914

Таблица 4  
Химический состав русловых отложений р. Пахры, взвеси сточных вод (ВСВ) и осадков сточных вод (ОСВ) г. Подольска

Компонент	Русло- вые пески (выше города)	Техногенные илы			ОСВ	ВСВ
		центр города	2 км ниже руч. Черного	9 км ниже руч. Черного		
<b>Основные, %</b>						
SiO <sub>2</sub>	83,99	75,18	61,91	69,75	26,03	28,35
TiO <sub>2</sub>	0,26	0,43	0,38	0,23	0,33	0,45
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,45	5,76	8,83	7,45	6,05	5,55
FeO+Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,62	2,98	4,95	3,14	5,15	7,36
MnO	0,02	0,06	0,02	0,03	0,05	— **
MgO	1,28	1,12	0,68	0,50	1,41	2,32
CaO	2,71	4,96	6,99	5,79	10,11	8,14
Na <sub>2</sub> O	0,59	0,77	0,68	0,59	0,85	0,88
K <sub>2</sub> O	1,13	1,73	1,62	1,15	0,78	1,15
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,27	0,46	0,59	0,39	2,81	—
S <sub>общая</sub>	< 0,01	0,01	0,18	0,06	2,55	—
ППП*	2,19	5,99	12,48	10,21	44,12	41,01
Сумма	99,51	99,45	99,32	99,29	100,24	—
CO <sub>2</sub>	2,05	3,37	4,18	1,82	2,12	—
C <sub>опт</sub>	0,65	1,25	3,80	2,48	24,37	—
<b>Микроэлементы, мг/кг</b>						
Никель	10,1	80,3	100,1	50,8	440	425
Медь	29,3	400,1	650,2	325,1	3850	1386
Цинк	30,0	275,1	300,1	200,0	3275	1637
Серебро	0,08	1,5	5,0	3,0	12,5	—
Кадмий	0,2	0,9	6,2	2,1	45	32
Свинец	21,7	75,1	347,1	297,1	1600	1023
<b>Органические соединения, мг/кг</b>						
Нефтепродукты	5	350	750	300	16200	—
Бенз(а)пирен	< 0,01	0,01	0,03	0,01	0,14	—

П р и м е ч а н и е. ППП — потери при прокаливании; прочерк — компонент не определялся.

р. Пахры повышенных количеств тонких (алевритовых и глинистых) частиц во многом определяет тот факт, что эти отложения отличаются от фонового аллювия пониженным содержанием кремнезема, увеличенными количествами глинозема, серы, оксида кальция и органического вещества, а также экстремально высокими концентрациями (в десятки и сотни раз выше фона) тяжелых металлов, нефтепродуктов и бенз(а)пирена (табл. 4). Естественно, что концентрированию тяжелых металлов в илах в значительной мере способствует обогащенность последних рассеянным органическим веществом, обычно связанного с тонкими фракциями отложений. Несмотря на то, что наиболее интенсивно тяжелые металлы накапливаются в глини-

стой фракции, их основным носителем являются алевритовые частицы, с которыми связано до 50—70% валового содержания металлов, что обусловлено высокой долей данной фракции в илах и повышенными концентрациями в ней изученных химических элементов.

### Заключение

Фоновые участки русла р. Пахры сложены разнозернистыми, относительно неплохо отсортированными песками, представляющими собой несвязанные грунты, гранулометрический состав которых отражает естественную дифференциацию осадочного материала, поступающего с водосборной территории, русловыми процессами. В фоновом аллювии, средний (медианный) размер частиц которого составляет ≈ 0,1 мм, доминируют фракции мелкого (43,1—47,2%) и среднего (28,8—29,8%) песка, доля глинистых частиц изменяется в пределах 0,4—0,6%, физической глины — 0,9—1,3%. В зоне влияния г. Подольска, где в аллювиальном седиментогенезе участвуют значительные массы техногенного осадочного материала, поступающего со сточными водами и поверхностным стоком с освоенных территорий, в русле Пахры развиты плохо отсортированные песчанистые, мелкоалевритовые и крупноалевритовые илы, представляющие собой связанные грунты, в гранулометрическом спектре которых преобладает фракция алеврита (35,1—53,8%), доля глинистых частиц составляет 1,5—7,4%, физической глины — 5,9—16,1%. Медианный размер частиц, слагающих техногенные илы, изменяется в пределах 0,031—0,075 мм. Техногенные илы, характеризуясь более тонким гранулометрическим составом, отличаются от фонового аллювия пониженным содержанием кремнезема, высокими концентрациями глинозема, серы, оксидов кальция, железа и органического вещества. Повышенное содержание в илах тонких частиц (особенно физической глины) и органического вещества во многом определяет их обогащенность различными поллютантами, прежде всего, тяжелыми металлами, нефтепродуктами и бенз(а)пиреном. Наиболее интенсивно поллютанты накапливаются во фракции глины (< 0,005 мм), но их основным носителем являются алевритовые частицы, с которыми, например, связано до 50—70% валового содержания металлов, накапливающихся в техногенных илах. Безусловно, оценка экологического состояния рек в городских ландшафтах должна проводиться с учетом гранулометрического состава формирующихся здесь русловых отложений.

### ЛИТЕРАТУРА

- Абрамович Д.И. Река Пахра как пример малых рек. М.: Изд-во АН СССР, 1946. 52 с.
- Батурина В.П. Петрографический анализ геологического прошлого по терригенным компонентам. М.—Л.: Изд-во АН СССР, 1947. 338 с.
- Баранова А.Г., Бикунова М.В., Каледа И.А. К вопросу определения содержания в городских сточных водах тонкой взвеси // Тез. докл. областной конф. «Повышение эффективности работы предприятий водоочистки и водоотведения». Куйбышев, 1990. С. 13—14.

4. Боровков В.С. Русловые процессы и динамика речных потоков на урбанизированных территориях. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 286 с.
5. Евилевич А.З., Евилевич М.А. Утилизация осадков сточных вод. Л.: Стройиздат, 1988. 248 с.
6. Кузецов В.А. Геохимия аллювиального литогенеза. Минск: Наука и техника, 1973. 278 с.
7. Лазаренко А.А. Литология аллювия равнинных рек гумидной зоны (на примере Днепра, Десны и Оки). М.: Наука, 1964. 236 с.
8. Образование осадков в современных водоемах / Н.М. Стражов, Н.Г. Бродская, Л.М. Князева и др. М.: Изд-во АН СССР, 1954. 791 с.
9. Поляков С.С. Состав и свойства моренных отложений Московской области // Уч. зап. МГУ. Грунтоведение. 1956. В. 8. С. 61—84.
10. Ресурсы поверхностных вод СССР. Верхне-Волжский район. Т. 10. Кн. 1. М.: Гидрометеоиздат, 1973. 476 с.
11. Руководство по изучению новейших отложений. М.: Изд-во МГУ, 1976. 310 с.
12. Сток наносов. Его изучение и географическое распределение. Л.: Гидрометеоиздат, 1977. 240 с.
13. Туровский И.С. Обработка осадков сточных вод. М.: Стройиздат, 1988. 256 с.
14. Янин Е.П. Геохимические особенности и экологическое значение техногенных илов // Разведка и охрана недр, 1994. № 5. С. 35—37.
15. Янин Е.П. Русловые отложения равнинных рек (геохимические особенности условий формирования). М.: ИМГРЭ, 2002. 139 с.

Институт геохимии и аналитической химии  
им. В.И. Вернадского РАН  
(119991, г. Москва, ул. Косыгина, 19  
e-mail:[yanin@geokhi.ru](mailto:yanin@geokhi.ru))  
Рецензент — А.Н. Гусейнов