

**Янин Е.П. Гранулометрический состав техногенных илов реки Инсар и его изменения в зоне влияния города Саранска // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде. Материалы IV международной научно-практической конференции. Семипалатинский государственный педагогический институт, 19–21 октября 2006 года. Т. 2. – Семипалатинск, 2006, с. 301–309.**

Практически любые изменения условий аллювиального седиментогенеза сказываются не только на темпах образования речных отложений, но и на их морфологическом облике, вещественном составе и геохимических свойствах. В существенной мере это обусловлено тем, что за последние 100-150 лет в сложившейся системе природопользования функции многих рек коренным образом изменились: в большинстве случаев они, особенно малые и средние реки, являются коллекторами и приемниками сточных вод и загрязненного поверхностного стока с освоенных территорий. В таких районах в седиментогенезе участвуют значительные массы вещества, образующегося в результате техногенеза и являющегося материальным носителем поллютантов. Это, в свою очередь, непосредственно отражается на процессах аллювиального седиментогенеза и приводит к формированию в реках освоенных районов нового типа русловых отложений – техногенных илов (Янин, 1985, 1988, 1994). Именно техногенные илы являются основными концентраторами загрязняющих веществ и в существенной мере определяют важнейшие эколого-геохимические особенности поверхностных водотоков многих урбанизированных районов. Это определяет необходимость изучения их гранулометрического состава, играющего важную роль в процессах аккумуляирования и перераспределении поллютантов в отложениях.

В основу настоящей работы положены результаты исследований, выполненных в пределах Республики Мордовии на реках Инсар и Алатырь. Река Инсар является коллектором 50 млн. м<sup>3</sup> сточных вод, ежегодно образующихся в пределах г. Саранска. Основная доля сточных вод сбрасывается в Инсар с городских очистных сооружений (ГОС), расположенных на левом берегу реки (северная окраина г. Саранска). Сточные воды также поступают в реку с локальных заводских очистных сооружений (ЛОС) по р. Лепелейке, дренирующей южную промзону города, и руч. Никитинскому, принимающему сток центральной промзоны.

Инсар – типичная равнинная река, русло и сток которой формируются в лесостепной зоне. Питание реки преимущественно снеговое, некоторое участие в нем принимают грунтовые и дождевые воды, а в последние годы – промышленно-бытовые сточные воды, доля которых в среднегодовом речном стоке достигает 20-25%. С геоморфологической точки зрения

русло Инсара в пределах и ниже города Саранска характеризуется благоприятными условиями для аккумуляции наносов, что обусловлено как естественными, так и искусственными факторами. В частности, в районе Саранска речная долина расширяется до 1-2, в предустьевой части до 3 км. Русло реки здесь широкопойменное; средняя ширина его в межень колеблется в пределах 18-22 м. Обычные максимальные глубины – 1,9-2,2 м (иногда до 4 м). Ниже города продольный профиль русла выполаживается, при этом по направлению к устью заметно снижается доля прямолинейных участков. Например, коэффициент извилистости русла в верховьях реки не превышает 1,1 (прямолинейное русло), в пределах города достигает 1,3 (умеренно извилистое), ниже – 1,5 и в предустьевой части – 1,6 (сильно извилистое русло). Это способствует не только аккумулярованию осадочного материала, но и формированию в речном русле поперечных течений, что, в свою очередь, активизирует процессы разбавления поступающих городских стоков речными водами. В черте города на р. Инсар существует плотина, высота которой составляет 4 м, а длина зоны подпора достигает 8-9 км. В низовьях Инсара сохранились остатки плотины малой ГЭС. В 75 км ниже ГОС Инсар впадает в р. Алатырь (левый приток Суры, бассейн Волги). Сток Алатыря примерно на 25% формируется за счет стока Инсара. Длина Инсара - 168 км, площадь бассейна - 4020 км<sup>2</sup>, многолетний средний расход воды в районе Саранска составляет 6 м<sup>3</sup>/с.

В пределах городской черты отбор проб техногенных илов (обычно верхний – 0-40 см - их слой) осуществлялся с шагом 250 м. На опорных участках русла р. Инсар техногенные илы опробовались (с учетом их стратификации) на всю мощность залегания (т. е. до коренного русла): участок I – ниже р. Лепелейки (принят за нулевую отметку, далее указаны расстояния от него, а в некоторых случаях - населенный пункт, ближайший к участку отбора проб); II – центр Саранска (8 км); III – ниже ручья Никитинского (11 км); IV – выше ГОС (17 км); V – 0,2 км ниже ГОС (19,5 км), VI – 24 км; VII – 30 км, с. Мал. Елховка, VIII – 38 км, с. Шувалово, IX – 49 км, пос. Ромоданово, X – 62 км, с. Пушкино, XI – 92 км, устье Инсара; участок XII – р. Алатырь, краевая часть зоны техногенного осадконакопления (~ 70 км ниже устья Инсара).

Отбор проб отложений осуществлялся с помощью бура ТБГ-1 в белые полотняные мешочки; пробы высушивались на воздухе (в тени), измельчались, просеивались через капроновое сито с диаметром отверстий 1 мм и помещались в бумажные пакеты. Компоненты петрохимического состава русловых отложений (силикатный анализ) исследовались по стандартным методикам (сочетание гравиметрического, объемного, комплексометрического, потенциометрического, пламенно-фотометрического, фотоколориметрического методов). Гранулометрический фондовый аллювия (слой 0-20 см) и техногенных илов (слой 20-60 см) осуществлялся водно-ситовым методом.

В настоящее время техногенные илы выстилают значительную часть русла Инсара и некоторых его притоков, дренирующих территорию г. Саранска и его окрестности (р. Лепелейка, руч. Никитинский, р. Саранка и др.). В пределах городской части гидросети вертикальная мощность техногенных илов изменяется от 0,2–0,3 до 1–1,2 м, причем максимальные значения характерны

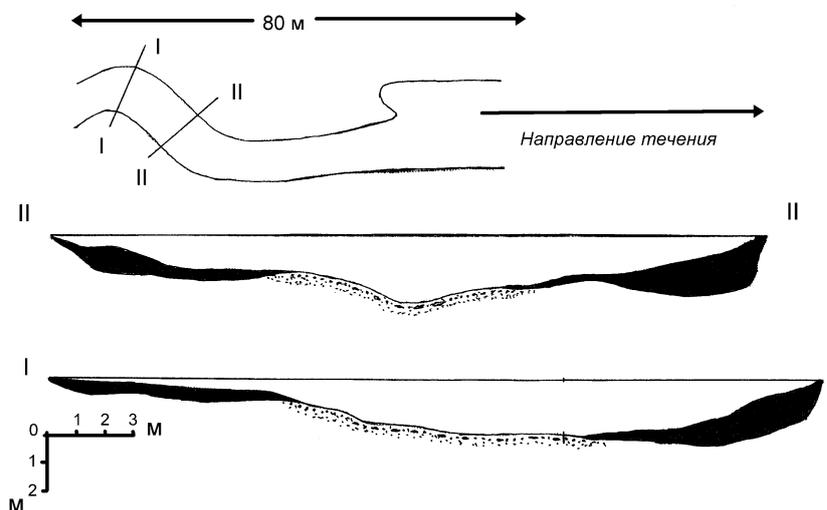


Рис. 1. Поперечный профиль через русло Инсара, участок VIII (Сплошным темным цветом показано расположение техногенных илов; прочее – песчано-гравийные отложения с включениями частиц техногенного ила).

для участков русла Инсара, расположенных ниже впадения в него р. Лепелейки и руч. Никитинского. Ниже сброса сточных вод с ГОС техногенные илы очень часто практически полностью слагают русло Инсара, а их мощность на отдельных участках, с гидродинамической точки зрения

особенно благоприятных для осадконакопления, достигает 2–3,5 м. В большинстве случаев максимальные скопления техногенных илов наблюдаются у берегов (рис. 1); стречневые части речного русла, как правило, выстланы разнотельным песком с галькой, щебнем, гравием, дресвой и часто с обилием частиц техногенного ила, иногда играющих роль своеобразного наполнителя. Техногенные илы характеризуются своеобразным петрохимическим составом (табл. 1).

Скопления техногенных илов (мощностью до 1,2–1,5 м) в форме относительно крупных линз и грядоподобных образований прослеживаются практически непрерывно до устья реки Инсар, формируют прибрежные отмели (типа побочней), небольшие осередки, активно накапливаются в затонинах и плесовых ложинах, на низкой пойме, особенно при развитии в ее пределах зарослей, образуемых как макрофитами, так и наземными растениями. Иногда техногенные илы тонким слоем перекрывают морфологически хорошо выраженные прибрежные песчаные отмели (обычная мощность подобного техногенного наилка составляет 2–5 см). В устье Инсара техногенные илы, в массе своей существенно опесчаненные, образуют прирусловые отмели, а также своеобразный конус выноса, где их вертикальная мощность составляет 1–1,2 м. Расчеты показывают, что объем техногенных илов, аккумулировавшихся в русле Инсара (на участке от устья р. Лепелейки до его устья), составляет порядка 0,8–0,9 млн. м<sup>3</sup>. Достаточно

интенсивно техногенные илы развиты и в русле Алатыря (на прирусловых отмелях, вдоль берегов, в затонинах, в зарослях макрофитов и т. д.), их накопление активно идет даже в 50-70 км ниже устья Инсара (участок опробования XII). Здесь илы в основном прослеживаются в виде линзообразных скоплений мощностью до 1-1,2 м у берегов, выстилают значительные части русла (слоем до 20-30 см) или прибрежные отмели, встречаются в пределах стрежневых участков русла и являются наполнителем в песчано-гравийных отложениях.

Таблица 1. Химический состав техногенных илов, %

Компонент	ФА	Участок отбора проб техногенных илов								
		II	III	IV	VI	VII	VIII	IX	X	XII
SiO <sub>2</sub>	81,63	56,86	61,07	48,58	62,32	74,96	62,56	65,14	57,42	72,27
TiO <sub>2</sub>	0,33	0,62	0,53	0,58	0,64	0,42	0,53	0,68	0,57	0,49
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5,22	10,86	9,10	10,15	10,52	6,86	8,87	10,64	9,16	7,84
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,03	4,86	3,51	3,23	4,24	3,87	3,79	3,80	3,75	2,89
FeO	0,57	2,16	1,94	2,66	1,36	1,29	1,94	2,51	2,16	1,00
MnO	0,078	0,141	0,050	0,049	0,075	0,049	0,071	0,079	0,095	0,056
CaO	0,78	2,66	2,04	2,12	2,20	1,10	1,90	1,80	5,43	1,78
MgO	0,37	1,31	1,21	0,94	1,16	0,65	0,84	1,05	1,00	0,79
Na <sub>2</sub> O	0,56	0,84	0,84	0,90	0,98	0,55	0,80	0,98	0,97	1,08
K <sub>2</sub> O	1,05	1,89	1,68	1,89	1,89	1,16	1,73	1,89	1,89	1,68
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,19	0,36	0,59	1,00	0,49	0,31	0,45	0,28	0,49	0,18
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	1,37	3,66	2,72	3,99	2,50	1,63	2,30	2,17	2,40	1,65
ППП	3,66	12,68	13,52	21,82	10,48	6,84	11,29	8,94	14,31	7,56
S	<0,10	0,17	0,42	0,58	0,17	0,45	0,68	0,28	0,28	0,10
CO <sub>2</sub>	0,66	1,43	0,66	0,99	1,32	0,66	1,20	0,88	4,16	1,26

Материальной техногенных илов является осадочный материал, поступающий главным образом с городских очистных сооружений, а также по р. Лепелейке и руч. Никитинскому (с локальных заводских очистных сооружений). Это во многом и определяет гранулометрический состав техногенных илов, для которых характерно высокое содержание фракций алеврита и глины, причем доля физической глины (частицы размером < 0,01 мм) составляет 15–32% (табл. 2, 3). Это, в частности, позволяет по особенностям пространственного распределения относительного содержания физической глины в русловых отложениях фиксировать зону влияния города на водоток (рис. 2). Гранулометрический состав илов резко отличает их от фонового аллювия, в котором преобладают фракции песка, доля алевритоглинистых частиц невелика, а количество физической глины составляет в среднем 3,5%. В аллювии доля алевритовых частиц редко превышает 5-6%, в илах же она достигает 30-50% и больше; если доля глины в аллювии ничтожна (не более 2-3%), то в илах – очень велика (до 20-25%).

Таблица 2. Гранулометрический состав фонового аллювия и техногенных илов, %

Уча- сток	Фракции, мм									
	2-1	1-0,5	0,5- 0,25	0,25- 0,10	0,10- 0,05	0,05- 0,01	0,01- 0,005	0,005- 0,001	<0,001	<0,01
	Песок					Алеврит		Глина		Физиче- ская глина
ФА	1,2	19,2	51,6	16,2	5,8	2,5	1,7	1,1	0,7	3,5
I	0,1	2,0	15,5	12,0	17,1	25,6	3,2	14,14	10,1	27,4
II	0,1	1,6	9,0	6,7	13,1	37,3	10,3	16,0	6,0	32,3
III	1,0	8,5	30,3	10,5	14,7	19,4	3,7	9,0	2,9	15,6
IV	0,2	1,1	5,7	21,8	32,8	12,6	2,6	16,7	6,5	25,8
V	0,1	2,2	23,0	17,6	14,7	17,7	6,4	11,9	6,4	24,7
VI	0,1	0,4	4,1	6,4	17,0	42,0	9,7	14,6	5,7	30,0
X	0,3	0,7	5,4	13,4	38,8	24,2	5,5	9,5	5,2	20,2
XII	0,1	0,1	4,2	47,9	32,8	3,7	1,7	3,9	5,6	11,2

Таблица 3. Гранулометрические характеристики речных отложений

Уча- сток	Медиан- ный диа- метр, Q <sub>50</sub>	Коэффици- ент сорти- рованности, So	Коэффи- циент дисперс- ности	Грануломет- рическая формула, по А. Холмсу	Гранулометрический класс	
					по М.В. Кленовой*	по Н.М. Страхову**
ФА	0,220	2	0,04	900	Песок	Песок
I	0,020	35	0,38	422	Песчани- стый ил	Мелкоалев- ритовый ил
II	0,015	11	0,48	242	Ил	--"--
III	0,075	17	0,19	621	Песчани- стый ил	Крупноалев- ритовый ил
IV	0,049	17	0,35	612	--"--	Мелкоалев- ритовый ил
V	0,053	20	0,33	521	--"--	Крупноалев- ритовый ил
VI	0,015	4	0,43	251	Ил	Мелкоалев- ритовый ил
X	0,035	8	0,25	621	Песчани- стый ил	--"--
XII	0,078	3	0,11	800	--"--	Крупноалев- ритовый ил

\*По относительному содержанию физической глины (т. е. фракции < 0,01 мм); \*\* по сред-  
нему (медианному) диаметру.

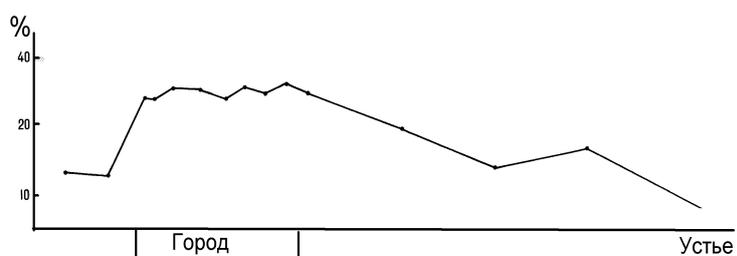


Рис. 2. Распределение физической глины в донных отложениях Инсара в зоне влияния г. Саранска.

Гранулометрические показатели особенно наглядно иллюстрируют различия гранулометрического состава аллювия и илов (табл. 3, 4). Так, медианный диаметр частиц ила в 3-10 раз меньше, чем у аллювия, для которого значения этого

параметра близки среднему показателю для рек данного географического района ( $= 0,3$  мм). Илы отличаются высоким значением коэффициентов дисперсности (почти всегда на порядок больше чем у аллювия). Если аллювий закономерно характеризуется относительно хорошей и, чаще всего, средней сортированностью, то илы, особенно в ближней к городу зоне, сортированы плохо. Это подтверждается и очень высокими значениями отношений  $Q_{90}/Q_{10}$ , характерных для илов, тогда как аллювий может быть отнесен к однородным по крупности частиц отложениям.

Таблица 4. Гранулометрические характеристики фонового аллювия (ФА) и техногенных илов (I-XII)

Участок	$Q_{10}$	$Q_{25}$	$Q_{75}$	$Q_{90}$	$Q_{90}/Q_{10}$	$S_k$
ФА	0,065	0,16	0,32	0,550	8,5	1,06
I	0,0005	0,0025	0,088	0,235	470	0,55
II	0,00075	0,004	0,045	0,235	313	0,80
III	0,0040	0,015	0,260	0,350	88	0,69
IV	0,0007	0,0047	0,080	0,145	207	0,16
V	0,00075	0,0075	0,150	0,250	333	0,40
VI	0,00075	0,005	0,030	0,080	106	0,66
X	0,001	0,0089	0,072	0,090	90	0,52
XII	0,005	0,043	0,130	0,205	41	0,92

В большинстве случаев по своим гранулометрическим характеристикам техногенные илы представляют собой так называемые связанные пластичные грунты ( $Q_{50}$  очень редко превышает 0,05 мм, а если и превышает, то незначительно), тогда как фоновый аллювий – это типичный несвязанный грунт ( $Q_{50}$  много больше 0,05 мм). Следует также добавить, что коэффициент асимметрии  $S_k$  фонового аллювия больше единицы, техногенных илов - всегда меньше единицы. Гранулометрические коэффициенты, рассчитанные для фонового аллювия Инсара, близки показателям, характерным для современного аллювия Русской равнины. Так, по данным А.А. Лазаренко (1964), медианный диаметр для аллювия перекаатов здесь колеблется в пределах 0,31-0,40, для плесов – 0,30-0,35; коэффициент сортированности для перекаатов составляет 1,23-1,28, для отложений плесов – 1,26-1,32, что отличает их от техногенных илов.

Фоновый аллювий характеризуется одновершинной кривой распределения частиц с выраженной асимметрией, что является следствием преобладания фракций размером 0,5-0,25 мм. Это свидетельствует о наличии одного источника поступления наносов в водоток (главным образом осадочный материал с водосбора). Совершенно иным обликом таких же кривых отличаются техногенные илы (рис. 3).

Как известно, многовершинные кривые распределения обычно типичны для отложений, сложенных генетически разнородными образованиями. В данном случае это указывает на то, что в сложении илов принимает участие как техногенный материал, так и природный аллювий. Схожий облик кривых распределения для илов, формирующихся в местах

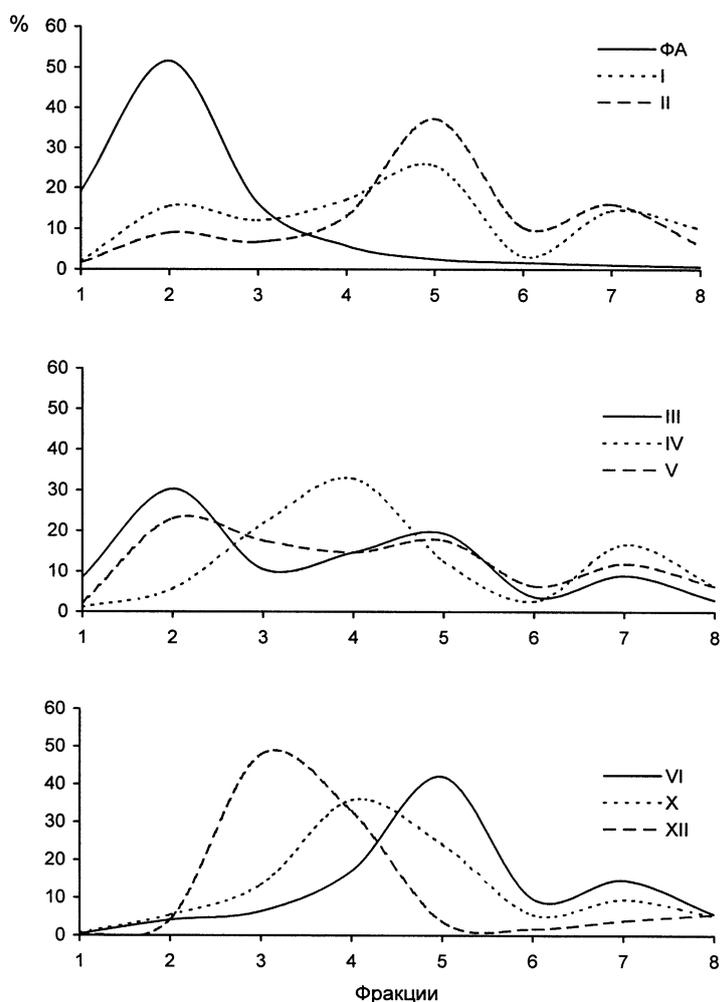


Рис. 3. Кривые распределения частиц различного размера в фоновом аллювии (ФА) и техногенных илах (участки I-XII, расположение см. в тексте): % - доля фракции; размер частиц, мм: 1 - 2-1; 2 - 1-0,5; 3 - 0,5-0,25; 4 - 0,25-0,10; 5 - 0,10-0,05; 6 - 0,05-0,01; 7 - 0,01-0,005; 8 - 0,005-0,001; 9 - < 0,001.

основного поступления техногенного материала (рис. 3, участки I, III, V), свидетельствует об определенном единообразии его гранулометрического состава и указывает на важную роль механического осаждения взвеси в накоплении илов на этих участках. Трехвершинный характер кривых распределения явно отражает поставку техногенного материала как со сточными водами, так и с поверхностным стоком с территории города. В свою очередь, для илов, слагающих основное русло реки в пределах и ниже города, двухвершинность подобных кривых отвечает значительному участию в их образовании природного осадочного материала (фонового аллювия). Кроме того, на этих участках выпадение взвеси осуществляется уже не только путем гидравлического выпадения ее из потока, но и в результате коагуляции тонкой взвеси и коллоидов и образования аморфных веществ за счет процессов сорбции и флокуляции с последующим их осаждением. Показательно, что по мере удаления от города (участки VI, X) облик кривых распределения частиц приобретает более выраженный одновершинный характер. В конце зоны техногенного осадконакопления (участок XII) кривая распределения становится практически од-

нородными образованиями. В данном случае это указывает на то, что в сложении илов принимает участие как техногенный материал, так и природный аллювий. Схожий облик кривых распределения для илов, формирующихся в местах

основного поступления техногенного материала (рис. 3, участки I, III, V), свидетельствует об определенном единообразии его гранулометрического состава и указывает на важную роль механического осаждения взвеси в накоплении илов на этих участках. Трехвершинный характер кривых распределения явно отражает поставку техногенного материала как со сточными водами, так и с поверхностным стоком с территории города. В свою очередь, для илов, слагающих основное русло реки в пределах и ниже города, двухвершинность подобных кривых отвечает значительному участию в их образовании природного осадочного материала (фонового аллювия). Кроме того, на этих участках выпадение взвеси осуществляется уже не только путем гидравлического выпадения ее из потока, но и в результате коагуляции тонкой взвеси и коллоидов и образования аморфных веществ за счет процессов сорбции и флокуляции с последующим их осаждением. Показательно, что по мере удаления от города (участки VI, X) облик кривых распределения частиц приобретает более выраженный одновершинный характер. В конце зоны техногенного осадконакопления (участок XII) кривая распределения становится практически од-

новершинной и похожей на таковую для фонового аллювия. Здесь доминируют частицы, отвечающие мелкому и тонкому песку, хотя содержание физической глины по-прежнему велико. По мере удаления от города наблюдается увеличение степени сортированности илов, медианного диаметра частиц, а также снижение их дисперсности, что свидетельствует о преобразовании гранулометрического состава илов (табл. 2-4, рис. 4). Это обусловлено их переотложением и разубоживанием техногенного материала природным аллювием, что сопровождается огрублением отложений; техногенные илы своими гранулометрическими параметрами как бы приближаются к типичному русловому аллювию.

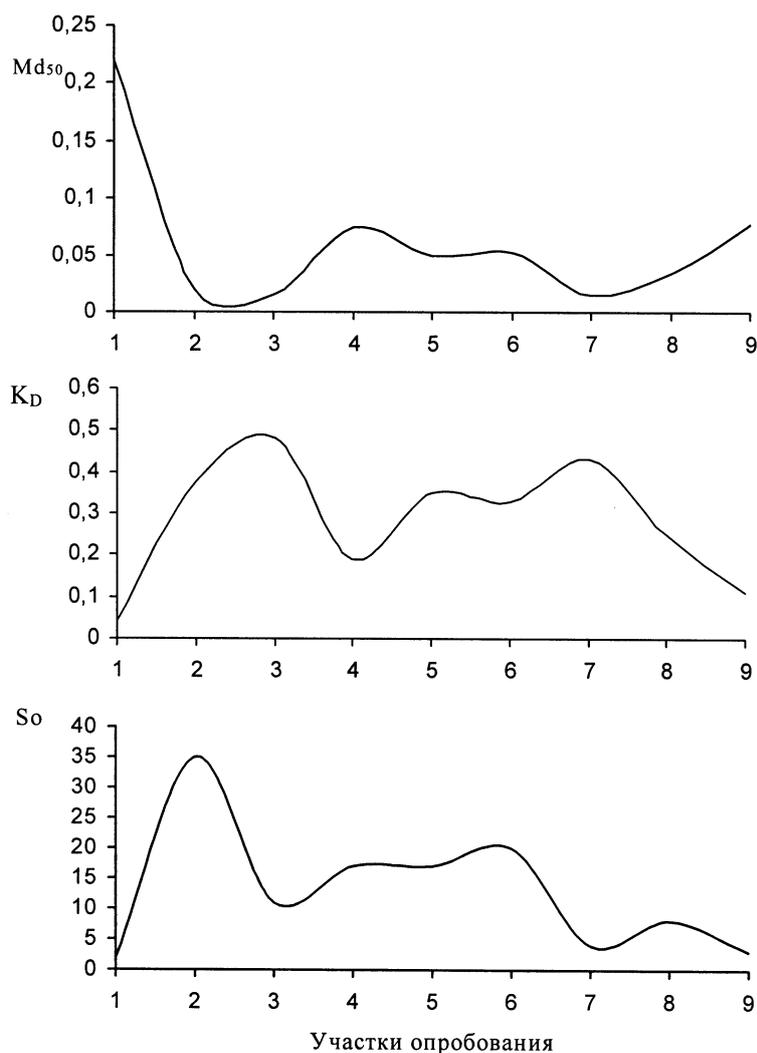


Рис. 4. Распределение гранулометрических показателей, характеризующих речные отложения:  $Md_{50}$  – медианный диаметр;  $K_D$  – коэффициент дисперсности;  $S_0$  – коэффициент сортированности; участки опробования: 1 – фоновый аллювий, 2 – I, 3 – II, 4 – III, 5 – IV, 6 – V, 7 – VI, 8 – X, 9 – XII.

риала природным аллювием, что сопровождается огрублением отложений; техногенные илы своими гранулометрическими параметрами как бы приближаются к типичному русловому аллювию.

Следует отметить, что результаты гранулометрического анализа, в том числе значения различных показателей, их пространственное отражение на графиках, могут использоваться для фиксирования распространения техногенных илов в русле реки. В частности, пространственное распределение значений таких коэффициентов, как  $Md_{50}$ ,  $K_D$ ,  $S_0$ , указывает на то, что наиболее интенсивное накопление техногенных илов

происходит в пределах отрезка русла Инсара от участка I до участка VI опробования. Соответственно, этот отрезок характеризуется и максимальным уровнем техногенного загрязнения, поскольку существенная масса загрязнителей концентрируется именно в илах.

В соответствии с классификациями М.В. Кленовой и Н.М. Страхова фоновый русловой аллювий представляет собой типичный песок, тогда как техногенный ил – это главным образом песчанистый ил или мелкоалевритовый (иногда крупноалевритовый) ил (см. табл. 3). В составе техногенных илов всегда присутствуют значительные количества глинистых частиц. В общем случае можно утверждать, что фоновый аллювий – это в основном среднезернистые неплохо сортированные пески, характеризующиеся как несвязанные грунты; техногенные илы – это плохо сортированные мелкоалевритовые илы с повышенным содержанием глинистых частиц, представляющие собой связанные грунты. Наличие в техногенных илах значительных количеств тонких частиц вкупе с обилием органического вещества в существенной мере определяет своеобразие химического состава и геохимические особенности этих отложений, играющих важную роль в жизни водной системы. Таким образом, промышленно-урбанизированные территории и городские агломерации характеризуются увеличением темпов и объемов поступающего в водотоки осадочного материала, отличающегося специфическим вещественным составом, что существенно изменяет режим наносов и условия аллювиального седиментогенеза. В настоящее время в реках указанных районов интенсивно формируется особый тип речных отложений – техногенные илы, которые своими гранулометрическими и химическими характеристиками и отличаются от фонового руслового аллювия. В качестве краткой формы полного термина «техногенный ил» может быть предложен термин «технопель» (от греч. *technē* – искусство, мастерство, техника + *pēlós* – ил, грязь). От родового названия технопель легко образовывать видовые – речной технопель, озерный технопель, морской технопель.

В общем случае формирование техногенных илов происходит за счет смешения в русле реки двух транспортных потоков разнородного осадочного материала – техногенного и природного, что соотносится с известной схемой осадкообразования в гумидных условиях Н.М. Страхова, согласно которой формирование осадков и пород очень часто происходит за счет смешения разнородного материала. При этом решающее значение в создании литологических и геохимических пространственных различий техногенных илов имеют чисто физические процессы – механический разнос и фракционирование твердых фаз. Определенную роль в образовании илов играют и химико-биогенные процессы, главным образом на стадии вторичного их преобразования, особенно на участках смешения сточных вод с речными и при возможных в условиях техногенеза резких изменениях физико-химических условий среды осадконакопления.