

## ДИНАМИКА НАНОСОВ В ЭСТУАРИЯХ КРУПНЕЙШИХ РЕК ФРАНЦИИ

Исупова М.В., Михайлова М.В.

Институт водных проблем РАН

E-mail: [misupova@yandex.ru](mailto:misupova@yandex.ru); [mv.mikhailova@gmail.com](mailto:mv.mikhailova@gmail.com)

Устьевые области крупнейших рек Франции Сены, Луары и Гаронны (рис. 1) относятся к макроприливным эстуариям. Величина сизигийных приливов достигает в эстуарии Луары 6.7 м, Сены – 7.5–8.0 м, Жиронде (основная часть сложной устьевой области рек Гаронна и Дордонь) – 5.0 м. Режим уровней воды, течений, солености воды и наносов в эстуариях зависит главным образом от взаимодействия сезонных колебаний стока воды рек и высоких приливов. В результате этого взаимодействия формируется своеобразная циркуляция вод, называемая эстуарной, и возникают зоны с аномально высоким содержанием взвешенных наносов.

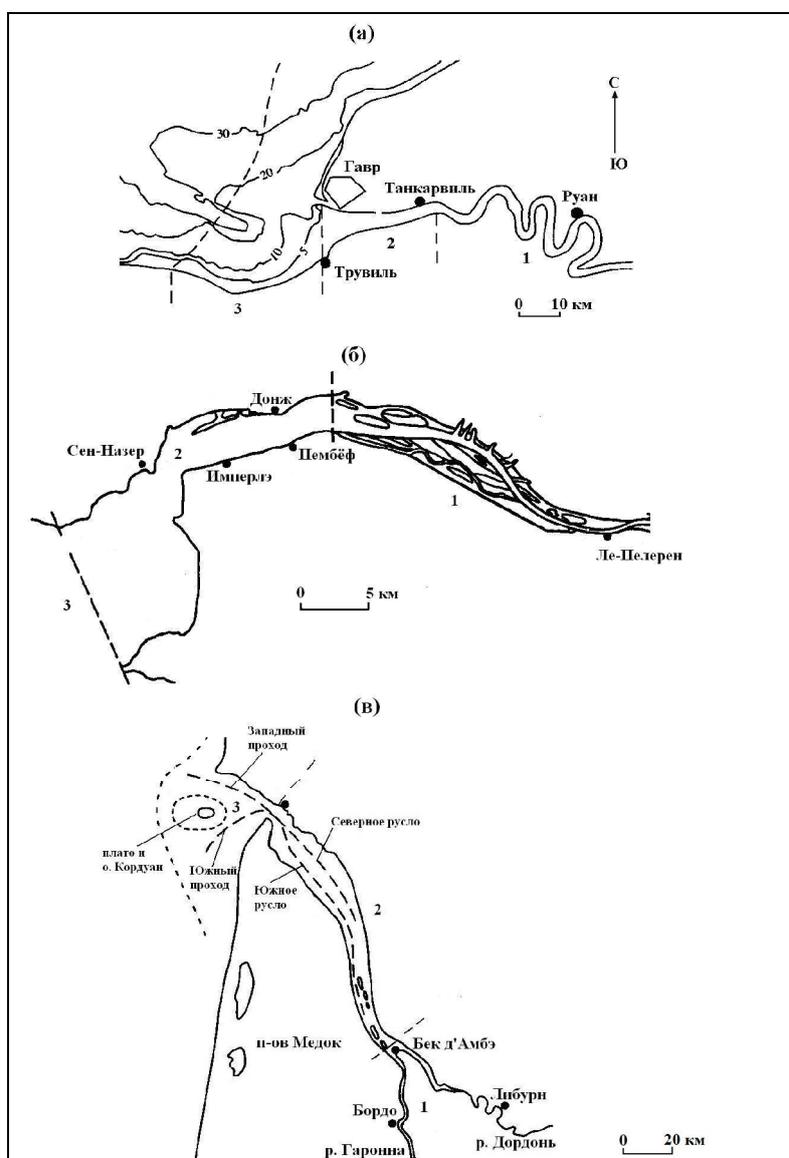


Рис. 1. Схема устьевых областей рек Сена (а), Луара (б), Гаронна и Дордонь с эстуарием Жиронда (в). 1 – устьевой участок реки, 2 – эстуарий, 3 – открытое устьевое взморье (границы обозначены штриховыми линиями).

Эстуарии имеют воронкообразную форму и плавные очертания; их морфометрические характеристики (площадь поперечного сечения, ширина, средняя глубина) постепенно увеличиваются от вершины эстуариев в сторону моря (табл. 1). В устье Жиронды, ограниченном с юга полуостровом Медок, эстуарий перед выходом в море сужается до 5 км. Берега эстуариев Жиронда и Луары в основном аккумулятивные, формирующиеся волновыми процессами. В эстуарии Сены берега относятся к эрозионно-расчлененным без четко выраженного клифа в южной части и с высоким (до 30 м) клифом в северной (район Гавра). Дно эстуариев сложено главным образом песком или песчаным илом.

**Таблица 1. Основные характеристики крупнейших приливных устьевых областей рек Франции (прочерк – отсутствие данных)**

Река	Длина, км			Ширина эстуария, км		Глубина эстуария, м		Площадь		Сток		Предельная дальность распространения от устья эстуария, км	
	приливного участка реки	эстуария	устьевое взморье	в вершине	на морской границе	на фарватере	на морской границе	поверхности эстуария при максимуме прилива, км <sup>2</sup>	водосбора, тыс. км <sup>2</sup>	воды, км <sup>3</sup> /год	наносов, млн. т/год	приливов	морских вод
Сена	133	30	22	0.5	9–12	5.6	5–7	31	79	12.6–14.2	0.2–1.0	163	50
Луара	75	25	–	3	12	6–7	10–14	200	126	27	7.8	100	25
Дордонь	90	75	30	2	12–5	5–10	10–30	625	100	29.7	1.5–4.6	165	80
Гаронна	95											170	

В приливных устьях рек важнейшим механизмом регулирования распределения концентрации наносов является «эстуарная» циркуляция. Она возникает при достаточно больших вертикальных и горизонтальных градиентах плотности воды. В верхней части потока при наличии положительного уклона водной поверхности течение направлено в сторону моря. В нижней части потока течение обусловлено действием продольных градиентов плотности и направлено в сторону реки. Необходимым условием возникновения «эстуарной» циркуляции в стратифицированном потоке является наличие наклонной в сторону моря границы раздела вод с разной плотностью. В зависимости от приливной фазы зона взаимодействия речных и морских вод смещается вдоль русла. Результатом осреднения распределения течений и солености воды в потоке за приливный цикл является результирующая (остаточная) «эстуарная» циркуляция. В таких устьях в русле реки у дна всегда существует условная «нулевая» точка, в которой течение отсутствует. Выше этой точки течение направлено в сторону моря, ниже – обратное, направленное в сторону реки. Осредненное положение «нулевой» точки обычно соответствует пределу распространения градиентов плотности (и самих морских вод) в сторону реки. Она разделяет придонные потоки наносов, направленные выше и ниже по течению от этой точки в противоположные стороны.

Результирующее движение воды в сторону реки у дна, высокие скорости приливных течений и повышенная турбулентность приводят к формированию зоны максимальной

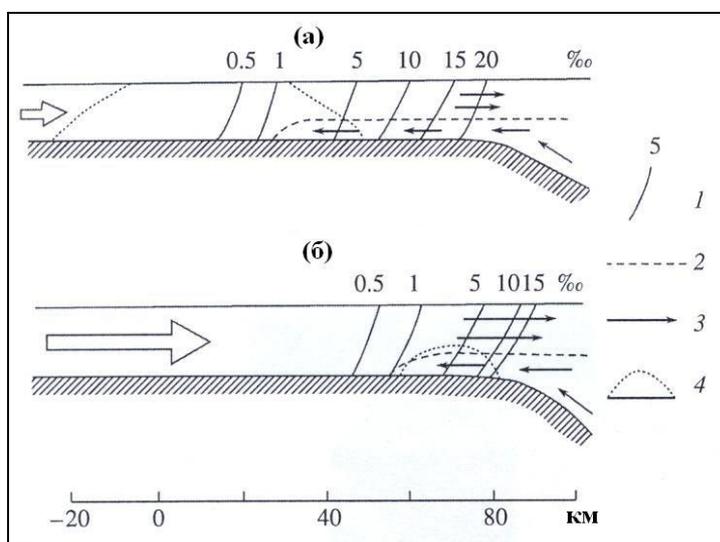
мутности (ММ) в районе «нулевой» точки, в пределах которой нередко возникает область с очень высокой концентрацией наносов у дна – «илистая пробка» или «пробка мутности». Содержание взвешенных наносов в зоне ММ в несколько раз больше, чем в речной и морской воде.

В то же время исследования в устье р. Сены показывают, что зона ММ в макроприливных эстуариях может формироваться и без участия эстуарной циркуляции и конвергенции течений. Главная причина возникновения этой зоны в эстуарии Сены – это взмучивание отложившихся в период смены течений взвесей сильными приливыми и отливными течениями.

Для описываемых эстуариев характерно наличие «илистой пробки». Концентрация взвешенных наносов в зоне ММ, длина которой может достигать нескольких десятков километров, достигает следующих величин: 0.2–1.0 кг/м<sup>3</sup> на поверхности и 1.0–10.0 кг/м<sup>3</sup> у дна в эстуарии Жиронда, 10.0–20.0 кг/м<sup>3</sup> – в эстуарии Луары, 1.0 кг/м<sup>3</sup> и больше в эстуарии Сены. В приливную фазу, особенно во время сизигии, эти значения увеличиваются.

Экстремальная мутность у самого дна приводит к отложению наносов и формированию зоны аккумуляции, называемой слоем «илистого крема». Содержание наносов здесь намного больше, чем в «илистой пробке» и достигает 250 кг/м<sup>3</sup> в эстуарии Жиронды, 140 кг/м<sup>3</sup> – Луары, 300 кг/м<sup>3</sup> – Сены. Подобное образование имеет форму линзы. Оно также перемещается в зависимости от фаз водного режима реки и приливов, но на меньшее расстояние, чем «илистая пробка».

Зона ММ подвержена миграциям под воздействием сезонных колебаний стока воды реки и приливов (рис. 2). В паводочный период, а также в фазу отлива зона ММ и «илистая пробка» смещается вниз по течению эстуария, в межень и в фазу прилива – вверх по течению. В эстуарии Луары при максимальных расходах воды реки «илистая пробка» может быть даже «вытолкнута» в море.



**Рис. 2. Осредненное за приливный цикл распределение течений, солёности воды и положение зоны ММ в эстуарии Жиронда в межень ( $Q < 200 \text{ м}^3/\text{с}$ ) (а) и в паводочный период ( $Q > 2000 \text{ м}^3/\text{с}$ ) [1]. 1 – изогалины в ‰, 2 – линия нулевой скорости течения, 3 – направление течений, 4 – граница зоны ММ с мутностью  $> 1 \text{ кг/м}^3$ .**

«Илистая пробка» и «илистый крем» обычно образуют в эстуариях единую перемещающуюся вверх и вниз по руслу сложную седиментационную систему, приводящую к аккумуляции наносов и ухудшению условий судоходства в эстуариях. Для

поддержания благоприятных условий судоходства в эстуариях проводятся выправительные и ежегодные дноуглубительные работы.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 07-05-00406).

#### Литература

1. *Allen G.P., Bonnefille R., Courtois G., Migniot Cl.* Processus de sédimentation des vases dans l'estuaire de la Gironde // *La Houille Blanche*. 1974. № 1/2. P. 125–136.
2. *Avoine J., Allen G.P., Nichols M. et al.* Suspended sediment transport in the Seine estuary, France: effect of man-made modifications on estuary – shelf sedimentology // *Marine Geology*. 1981. V. 40. №1/2. P. 119–137.
3. *Gallenne B., Salomon J.-C.* Études hydrodynamiques et sédimentologiques, en point fixe, des accumulations turbides dans l'estuaire de la Loire // *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique*. 1975. V. XVII. Fasc. 22. P. 147–162.