

## **МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ЗОНЫ СМЕШЕНИЯ ЛИМАНА И ВЛИЯНИЕ НА НЕЁ ВОДООБМЕНА ЧЕРЕЗ ПРОЛИВ**

***В.Я. Илюшин, к.г.н.***

*Одесский государственный экологический университет, г. Одеса*

**Постановка проблемы.** Формирование зоны смешения лимана определяется, прежде всего, притоком речных и морских вод, и оттоком лиманных вод через пролив. Хорошо известно, что по своим физическим и химическим свойствам пресные речные воды значительно отличаются от морских, в результате их смешения в лимане формируется лиманная водная масса, источники которой пространственно расположены с разных сторон устьевой области, морской (океанической) и речной (континентальной). При закрытом устьевом взморье взаимодействие речной и морской водных масс, формирующих зону смешения, в значительной степени определяется водообменом через пролив и спецификой динамики толщи вод, речных и подстилающих более плотных морских вод в этой зоне.

Зона смешения речных и морских вод в лимане в общем географическом понимании является зоной геоэкологического барьера между континентальными и океаническими водными массами в устьевой области. Поэтому изучение процесса формирования этой зоны имеет большое значение в первую очередь для водного населения этой зоны и касается экологических свойств водного объекта.

**Состояние исследований.** Механизм взаимодействия речных и морских вод в зоне смешения определяется рядом гидромеханических и гидравлических процессов:

- устойчивостью слоев зоны смешения к перемешиванию по вертикали;
- сдвиговыми напряжениями на поверхности раздела между речными и морскими водами, жидкой средой и дном, между слоями в толще воды. В условиях, когда речная вода движется по поверхности морской, граница раздела водных масс может быть в виде скачка плотности (динамического галоклина), частично или полностью перемешанной по вертикали зоной смешения, фронтальной зоной раздела речных и морских вод;
- общим гидродинамическим состоянием зоны смешения, определяемым свойствами взаимодействующих водных масс и гидрологическими факторами, обуславливающими эти взаимодействия.

Структура зоны смешения определяется, прежде всего, устойчивостью слоев. Прямую стратификацию в зоне смешения можно

оценить по кинематической формуле Хессельберга-Свердрупа, по данным стандартных гидрологических наблюдений,

$$E = \lim_{\Delta z \rightarrow 0} \frac{\Delta \rho}{\Delta z} \frac{\partial \rho}{\partial t} \left( \frac{dt}{dz} - \frac{d\vartheta}{dz} \right) + \frac{\partial \rho}{\partial S} \frac{dS}{dz}, \quad (1)$$

где  $E$  - общая устойчивость слоев, в правой части формулы представлена суммой температурной и соленосной устойчивостью;  $\Delta \rho / \Delta z$  - градиент плотности воды по вертикали, без учета потенциальной температуры;  $(\partial \rho / \partial t) dt$  - изменение плотности воды в вертикальном направлении в зависимости от температуры;  $dt / dz$  - приращение температуры в вертикальном направлении;  $d\vartheta / dz$  - изменение потенциальной температуры в зависимости от глубины;  $(\partial \rho / \partial S) dS$  - изменение солености воды по вертикали, определяемое приращением солености.

Механизм разрушения поверхности раздела, при переходном состоянии водной толщ в зоне смешения от динамического галоклина к частично перемешанной зоне, в теоретической гидромеханике и в лабораторных опытах, определяются следующими безразмерными комплексами:

1) локальным числом Ричардсона

$$Ri = \frac{g}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z} \left/ \left( \frac{dV}{dn} \right)^2 \right., \quad (2)$$

где  $g$  - ускорение силы тяжести;  $\frac{\partial \rho}{\partial z}$  - градиент плотности воды в вертикальном направлении;  $\frac{dV}{dn}$  - градиент скорости по нормали;

2) локальным динамическим числом Ричардсона  $R_f$

$$R_f = \frac{\frac{g}{s} \overline{u'_3 s'}}{u'_1 u'_3 \frac{\partial \overline{u_1}}{\partial x_3}}, \quad (3)$$

где  $g$  - ускорение силы тяжести,  $s$  - субстанция (соленость),  $u'_3$  - изменчивость пульсационной скорости по оси нормальной к наибольшему градиенту плотности,  $s'$  - пульсация субстанции,  $u'_1$  - изменчивость пульсационной скорости по оси нормальной к  $u'_1$ ,  $\frac{\partial \overline{u_1}}{\partial x_3}$  - градиент усредненной скорости по оси нормальной к наибольшему градиенту плотности;

3) локальным числом Рейнольдса, впервые введенным Л.Г.Лойцяным

$$\text{Re}_\delta = \frac{\Delta V \delta_a}{\frac{\rho_1 V_1 + \rho_0 V_0}{\rho_1 + \rho_0}} \quad (4)$$

и турбулентным числом Рейнольдса для всей толщи зоны смешения.

На основе линейной теории малых возмущений в теоретической гидромеханике показано, что условие роста во времени малых возмущений в слое раздела (в слое максимальных градиентов плотности по вертикали) может быть представлено зависимостью

$$F = \text{Re}_\delta * (\text{Fr}_\delta)^2, \quad (5)$$

где  $\delta$  - толщина слоя малых возмущений в области пограничного слоя динамического галоклина. Это состояние отображается локальными безразмерными числами Рейнольдса (4) и Фруда  $\text{Fr}_\delta$ , (6)

$$F = \frac{(\Delta V)^2}{g \frac{\Delta \rho}{\rho} \delta_a} * (\text{Re}_\delta), \quad (6)$$

где  $\delta_d$  - обозначает толщину динамического пограничного слоя раздела, в отличие от диффузионного пограничного слоя  $\delta_t$  и толщины вязкого слоя раздела  $\delta_p$ . Ламинарное течение в слое раздела существует при  $\text{Re}_\delta * (\text{Fr}_\delta)^2 = F \leq F_{\text{кр}} \approx 150$ , а турбулентное перемешивание наблюдается при  $\text{Re}_\delta * (\text{Fr}_\delta)^2 = F \leq F_{\text{кр}} \geq 1650$ .

Промежуточные числовые значения характеризуют:

- движение с регулярными устойчивыми внутренними волнами (500);
- движение с преобладанием нерегулярных длинных волн (800);
- с преобладанием коротких неустойчивых волн (1650).

Гидрологические факторы, обуславливающие взаимодействие морских и речных вод в зоне смешения следующие:

- степень устойчивости процессов взаимодействия речных и морских вод;
- объем поступающих в зону смешения морских и речных вод, физические и химические их свойства;
- общее гидродинамическое состояние элементов системы “атмосфера-гидросфера-литосфера”.

Определение объемов воды, поступивших из лимана в море  $Q_p$  и из моря в лиман  $Q_m$ , возможно путем совместного решения уравнений

водного и солевого балансов для малых промежутков времени. Для установившихся условий связь между водо- и солеобменными характеристиками в проливе, формирующими зону смешения, имеет вид:

$$Q_i = \left( \frac{S_e}{S_i - S_e} \right) Q_d, \quad (7)$$

где  $S_m, S_d$  - соленость морских и вытекающих лиманных вод.

**Вывод.** Гидрологический и гидравлический методы изучения реальных зон смешения в настоящее время предпочтительнее методов теоретической гидромеханики (истинно и то, что без их результатов невозможен качественный анализ процессов происходящих в зоне смешения).

УДК 551.465

## ПРОНИКНОВЕНИЕ СОЛЕННЫХ МОРСКИХ ВОД В ПРИУСТЬЕВЫЕ ОБЛАСТИ РЕК ДНЕПР И ЮЖНЫЙ БУГ

*Т.В.Хмара<sup>1</sup>, м.н.с., Ю.С.Тучковенко<sup>2</sup>, д.г.н., проф., К.А.Слепчук<sup>1</sup>, асп.*

<sup>1</sup>*Морской гидрофизический институт НАН Украины, г.Севастополь*

<sup>2</sup>*Одесский национальный экологический университет, г.Одесса*

Днепровско-Бугский лиман имеет навигационное, рыбохозяйственное и рекреационное значение. С другой стороны, лиман представляет собой важное экологическое значение как проточный водоем, в котором происходит разгрузка речных вод Днепра и Южного Буга. Процессы водообмена и гидрометеорологические условия формируют солевой режим лимана.

Соленость представляет именно то узловое звено, управление которым позволяет до известной степени изменять физико-химический и биологический режимы водоема. В результате взаимодействия речных и морских вод в лиманах, в пресноводную часть моря проникает небольшое число морских видов гидробионтов, а в сторону моря – ограниченное число пресноводных видов. Ограничение жизненных условий в лиманах определяется осмотическим давлением: пресноводные виды рыб погибают в соленой воде, а морские рыбы – в пресной.

Соленость воды в Днепро-Бугском лимане может очень сильно колебаться и зависит, с одной стороны, от направления и скорости ветра, с другой – от попусков опресненных вод Каховского водохранилища.

До зарегулирования реки Днепр, весной и в первую половину лета происходил паводок, в остальное время сток был минимальным. К концу