

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО НАУЧНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ
РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
КАРЕЛЬСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РАН
Зоологический институт РАН
Московский государственный университет
Санкт-Петербургский государственный университет
Гидробиологическое общество при РАН
Паразитологическое общество при РАН

МАТЕРИАЛЫ
XIII ВСЕРОССИЙСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ
С МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ

**ИЗУЧЕНИЕ, РАЦИОНАЛЬНОЕ
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ И ОХРАНА
ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ БЕЛОГО МОРЯ**

приурочено к 60-летию Беломорской биостанции
Зоологического института РАН
МЫС КАРТЕШ

Санкт-Петербург, 17–20 октября 2017 г.



СПб 2017

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВОДООБМЕНА БЕЛОГО И БАРЕНЦЕВА МОРЕЙ

А.Д. Наумов

ЗИН РАН, Санкт-Петербург, Россия

email: andrewnmv@gmail.com

Вопрос о времени, требующемся для полной смены воды в Белом море достаточно важен, в первую очередь потому, что он напрямую связан с процессами самоочищения этого водоема в условиях нарастающего антропогенного пресса. По этому поводу имеются различные мнения. Большинство авторов приводит очень краткие сроки, основываясь на расходе прибрежного поверхностного квазистационарного течения на траверзе мыса Никодимского. Между тем, течение в этом месте представляет собой северо-восточную часть общего циклонического круговорота, т. е. несет лишь беломорскую воду.

Более того, в основном принимается, что втекающая из Горла в Белое море вода полностью вытесняет соответствующий ей объем воды, уже в море присутствующей. Математическая модель такого водообмена не учитывает процесса смешения вод и описывается формулой

$$V_t = V_o - tV_{ex},$$

где V_o – полный объем водоема, равный исходному объему старой воды; V_t – остаточный к моменту t объем старой воды; V_{ex} – объем новой воды, втекающей за единицу времени; t – время. Приравнявая V_t нулю, получаем, что время, за которое вода сменится полностью, равно V_o/V_{ex} .

Названная модель ошибочна. Корректные способы расчетов должны учитывать процессы смешения поступающих в море вод с теми, которые там уже имеются. Принимая, что поступающая новая вода полностью смешивается со старой, и из водоема вытекают перемешанные воды, можно считать, что в единицу времени бассейн будет терять определенную долю исходных вод, равную $k_{ex} = V_{ex}/V_o$. Тогда модель водообмена принимает вид:

$$\frac{dV}{dt} = -k_{ex}V,$$

где V – объем, k_{ex} – коэффициент.

Решение этого уравнения:

$$V = V_o e^{-k_{ex}t},$$

где e – основание натуральных логарифмов.

Следовательно, остаточный объем старой воды будет с течением времени экспоненциально падать. Это значит, что время, за которое в водоеме совершенно не останется исходной воды, вычислено быть не может. Обычно для таких процессов стандартом принимается время, требующееся для того, чтобы исходная характеристика изменилась вдвое, в нашем случае – время полураспада. Тем не менее, большая практическая значимость заставляет найти некое разумное приближение ко времени полной смены беломорских вод. В качестве такового условно примем, что при разведении старой воды в 10^6 раз, процесс ее обновления завершается.

Все расчеты проводились на основе данных Елисова (1997), наших собственных (Наумов, Федяков, 1991) и сведений, опубликованных в «Ежемесячнике», издававшемся в течение ряда лет Севгидрометом.

Как известно, водообмен водоемов, подобных Белому морю, обеспечивается энергией приливов, а объем обменивающихся вод – пресным стоком и вызываемым им компенсационным противотечением.

Объем самого Белого моря, а также поступающего в него берегового стока и баренцевоморской воды оценивались различными авторами. Полученные ими результаты весьма близки. В данной работе принято, что объем Белого моря составляет 6000 км³, а суммарный объем годового пресного стока – 239 км³. Поскольку компенсационное противотечение равно ему по объему, получаем, что в Белое море каждый год поступает 468 км³ чужеродных (пресных и баренцевоморских) вод. По нашим расчетам (Наумов, Федяков, 1991) получается, что приблизительно 78% пресного стока ежегодно остается в Белом море. Очень близкие величины получил и Елисов (1997). В целом можно считать, что собственно беломорские воды – баренцевоморские, трансформированные пресным стоком.

Поскольку в Белом море в силу особенностей его гидрологического режима постоянного перемешивания вод по вертикали не происходит, разумно разделить его на некие условные слои и вычислять время полуобмена для каждого из них по отдельности, а для моря в целом принять максимальное из полученных значений.

Такие слои легко выделяются на основе различий летнего, зимнего и весенне-летнего типов водообмена. Понятно, что втекающие из Горла воды могут распространяться только в пределах изопикнических им слоев. Зная плотность беломорских вод на разных глубинах и плотность горловских вод в разное время года, несложно понять, на какие глубины, и в какое время они попадают.

Пресный сток, смешиваясь с баренцевоморскими водами в основном в Воронке, зимой опускается на горизонт 200–340 м, а летом – 30–50 м. В слой 0–10 м баренцевоморские воды вообще не попадают (Наумов, Федяков, 1991). Учитывая наличие весенне-осеннего водообмена, крайне плохо изученного, с известным огрублением весь столб беломорских вод может быть разделен на три основных слоя: 0–10 м (слой полного ветрового перемешивания, представленный только беломорскими водами), 10–100 м (слой летнего и, частично, весенне-осеннего обменов, представленный трансформированными беломорско-баренцевоморскими водами) и слой 100–340 м (слой зимнего и, частично, весенне-осеннего обменов, также представленный трансформированными беломорско-баренцевоморскими водами).

Результаты расчетов приведены в таблице.

Таким образом, видно, что сроки водообмена в различных слоях существенно различаются, причем вся вода в море обменивается не быстрее, чем за 350 лет. Полученные результаты больше чем на порядок превышают даже наиболее осторожные оценки.

Из приведенных данных следуют достаточно важные выводы, касающиеся судьбы попадающих в Белое море поллютантов. Те из них, которые попадают

в море непосредственно на его поверхность, т.е. наиболее вероятным путем, вымываются довольно быстро, и их концентрация падает вдвое всего за год.

Таблица

Темпы обмена воды в различные слоях

| Характеристика | Слой | | |
|--|-------|--------|---------|
| | 0–10 | 10–100 | 100–340 |
| Объем слоя, км ³ | 600 | 4355 | 1045 |
| Воды пресного стока, км ³ | 186.4 | 165.1 | 18.0 |
| Чужеродные морские воды, км ³ | 239.0 | 252.8 | 23.1 |
| Всего чужеродных вод, км ³ | 425.4 | 417.9 | 41.1 |
| Время полуобмена, лет | 0.98 | 7.22 | 17.62 |
| Время полного обмена (разведения в 10 ⁶ раз), лет | 19.48 | 143.96 | 351.12 |

Поступление загрязнений непосредственно в слой 10–100 м имеет более низкую вероятность. Для того чтобы чужеродное вещество в него попало, необходимо его поступление в воду в Горле в течение летних месяцев. Вероятность загрязнения Горла относительно невелика, и причины его, скорее всего, должны быть связаны с судоходством и с выносом из внутренней части моря загрязненных поверхностных вод. Подобное загрязнение попадает в наибольший объем беломорской воды и, соответственно, разводится в максимальной степени. Концентрация этих поллютантов снижается вдвое за 7 лет.

Наиболее неприятно загрязнение, поступающее в зимний период через Горло, так как глубинные воды, куда оно с неизбежностью попадает, обновляются всего медленнее. Для снижения его вдвое требуется почти 18 лет. Однако малонаселенность берегов Горла и резкое снижение судоходства в зимнее время дают основание полагать, что этот риск относительно невелик.

Так или иначе, то обстоятельство, что особенности водообмена Белого моря обеспечивают постоянное перемещение вод снизу вверх, способствует достаточно интенсивным процессам самоочищения этого водоема.

Список литературы

Елисов В.В. 1997. Оценка водного, теплового и солевого балансов Белого моря. // Метеорология и гидрология. № 9: 83–93.

Морской гидрометеорологический ежемесячник. 1961–1968 гг. – Архангельск.

Наумов А. Д., Федяков В. В. 1991. Особенности гидрологического режима северной части Белого моря. // А.Д. Наумов, В.В. Федяков. (ред.) Бентос Белого моря. Популяции, биоценозы, фауна. // Тр. Зоол. ин-та. Т. 233. – Л.: 13–26.