

# Влияние пиковых попусков с Волгоградской ГЭС на экологию Северо-Западного Каспия

П.В. Люшвин<sup>1</sup>, В.Н. Зырянов<sup>2</sup>, С.Н. Егоров<sup>3</sup>, А.В. Кухарский<sup>4</sup>, В.Ф. Полонский,  
А.Н. Коршенко<sup>5</sup>, А.Л. Лобов<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Научный центр оперативного мониторинга Земли  
127490 Москва, ул. Декабристов, вл.51, стр. 25

E-mail: [lushvin@mail.ru](mailto:lushvin@mail.ru)

<sup>2</sup>Институт водных проблем РАН

119991 Москва, ул. Губкина, 3

E-mail: [zyryanov@aqua.laser.ru](mailto:zyryanov@aqua.laser.ru)

<sup>3</sup>Каспийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства

414056 Астрахань, ул. Савушкина, 1

E-mail: [sn\\_eg@mail.ru](mailto:sn_eg@mail.ru)

<sup>4</sup>Научно-исследовательский центр космической метеорологии «ПЛАНЕТА»

123242 Москва, Большой Предтеченский пер., 7

E-mail: [kuxa@mail.ru](mailto:kuxa@mail.ru)

<sup>5</sup>Государственный океанографический институт

119034 Москва, Кропоткинский пер., 6

E-mail: [korshenko@mail.ru](mailto:korshenko@mail.ru)

<sup>6</sup>Гидрометцентр РФ

123342 Москва, Большой Предтеченский пер., 11-13

E-mail: [info@infomarccompany.com](mailto:info@infomarccompany.com)

С вводом в действие Волгоградской гидроэлектростанции резко изменились гидроэкологические условия на нижней Волге и в Северном Каспии. Из-за существующего режима работы ГЭС зимний сток увеличился втрое, на соответствующую величину стока уменьшилось весенне-летнее половодье и вдвое сократилась его продолжительность. Утренние попуски с ГЭС, особенно интенсивные по понедельникам, приводят к ежедневным изменениям скорости течения и уровня воды, эрозии берегов за счет ежедневного обсыхания и намокания, выплескам рыбы на берег и вод в море, не полностью прошедших биологический фильтр дельты. С пиковыми попусками в конце кварталов и после праздников сбрасывается из водохранилищ вода, так необходимая в половодье для комфортных условий воспроизводства биоты. Скачкообразное изменение поступлений пресной воды в море приводит к резким изменениям солености воды, несовместимым с жизнью для значительной части биоты. В результате этого биота устьевого взморья Волги ежедневно находится не в природных условиях воспроизводства, а в стрессовых условиях «критической солености биологических процессов».

Существующий режим работы ГЭС – пусковой механизм повышенной эвтрофикации водотоков и водоемов. Необходим механизм демпфирования этих попусков, например, создание после ГЭС демпферного водоема, объемом недельного меженного попуска вод.

## Введение

Развитие в НЦ ОМЗ настоящая работа получила в рамках тем, выполняемых по дешифрированию сбросов загрязняющих веществ в моря. Из общего объема загрязняющих веществ, включая нефтяные углеводороды, поступающих в моря, свыше 80% приходится со стоковыми и сточными водами, свыше 90% из них с речным стоком [1]. По спутниковой информации удастся оценить ареал распространения этих вод. Осуществляется это при анализе спутниковых карт температуры поверхности воды, хлорофилла и гидрозоля в поверхностных водах, а также по радиолокационным (рл.) снимкам [<http://muis-env.esrin.esa.it/geteolisa/manual.html>].

Сток волжской воды подвержен значительным межгодовым изменениям [2-4]. Согласно нормативным документам попуск воды для имитации весеннего половодья и обеспечения воспроизводства рыб осуществляется путем сброса  $\approx 2.2 \text{ км}^3$  воды в сутки в течение первых нескольких дней. Далее, пока

хватает воды в водохранилищах, следует переход уровня сброса на «полку»  $\approx 1.7 \text{ км}^3$  в сутки. В не засушливые годы таким режимом сброса достигается длительность половодья 40-60 дней, что считается экологически допустимым. В маловодные годы время стояния воды на отметках ниже максимальной за половодье на 0.2 и даже на 0.5 м оказывается менее 2-3 недель (рис.1.a). Личинки и мальки рыб в таких условиях скатываются с водой, не достигнув жизнестойкого уровня развития, либо обсыхают вместе с икрой. Как, например, в маловодном 1975 г., когда зафиксировано массовое обсыхание икры и личинок, и, как, следствие, минимальное число молоди рыб (рис.1.b). После зарегулирования стока реки у Волгограда нормальные условия (весеннее половодье) для воспроизводства полупроходных и речных рыб в дельте Волги обеспечивались с 1967 по 1980 гг. всего 4 раза [3, 5, 6], что способствовало существенному снижению численности рыб в Каспийском бассейне (рис.2.a). Для сохранения популяции полупроходных рыб в маловодные годы необходимо вносить коррективы в нормативные документы по имитации весеннего половодья с ГЭС. Вариант такой коррекции сброса и отклика на него уровня воды в дельте приведен пунктиром на рис.2.b.

Неравномерность стока Волги в межень обуславливается в основном суточным и недельным регулированием стока – загрузка энергосетей и соответственно пик попусков осуществляется утром или вечером (в зависимости от солнечного освещения) и в начале рабочей недели, спад в конце недели (рис.3) [7-11]. Суточный расход воды в Волге в межень  $\approx 0.5 \text{ куб.км}$ , суточное изменение его более чем на 10%, приводящее к повышению уровня воды на в/п Астрахань более чем на 10 см – пиковый попуск. Пиковые «сбросы, особенно значительные в вечернее время, когда возрастает энергопотребление в энергетическом кольце, вследствие этого уровень Волги поднимается обычно на 1-2 м, а в один из вечеров в январе 1967 г. наблюдался подъем более чем на 4 м» [12].

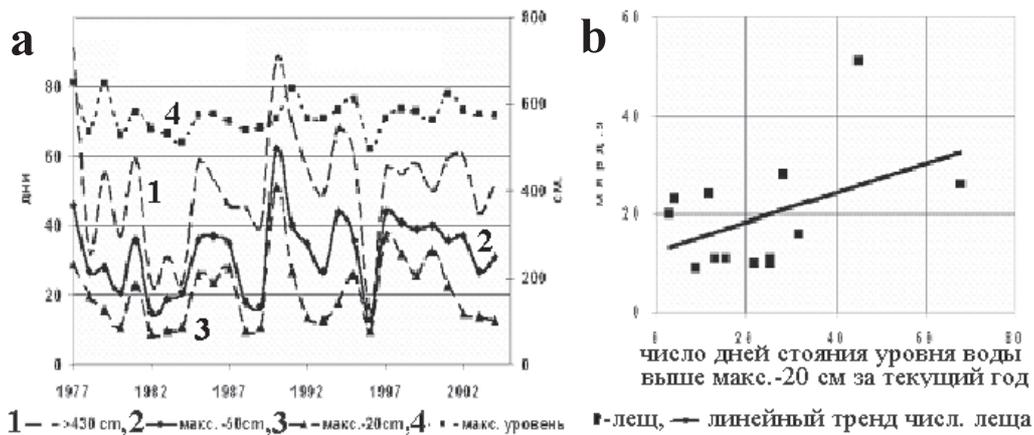


Рис. 1. Длительность половодья в сутках (уровень воды выше 4.3 м., кривая 1); длительность стояния уровня ниже макс. за текущее половодье на 0.5 и 0.2 м. (кривые 2,3) Кривая 4 - макс. уровень в текущее половодье (правая шкала на рис.1.a). Соотношение числа дней в половодье, когда уровень воды в дельте не опускался ниже макс. более чем на 0.2 м. и количества молоди леща (млрд. экз.[5]) в 1978-1990 гг. (рис.2.b)



Рис. 2. Добыча рыбы предприятиями Астраханской области с 1932 по 2004 г, тыс.т. (рис.2.a). Схема нормативного хода сброса воды с ГЭС в весеннее половодье (сплошная черная линия, рис.2.b) и ход уровня в Астрахани в маловодный год (серая сплошная линия - 2,5 недели). Пунктир - ход сброса воды с ГЭС для удлинения сроков половодья в дельте в маловодные годы до 4-х недель (серый пунктир)

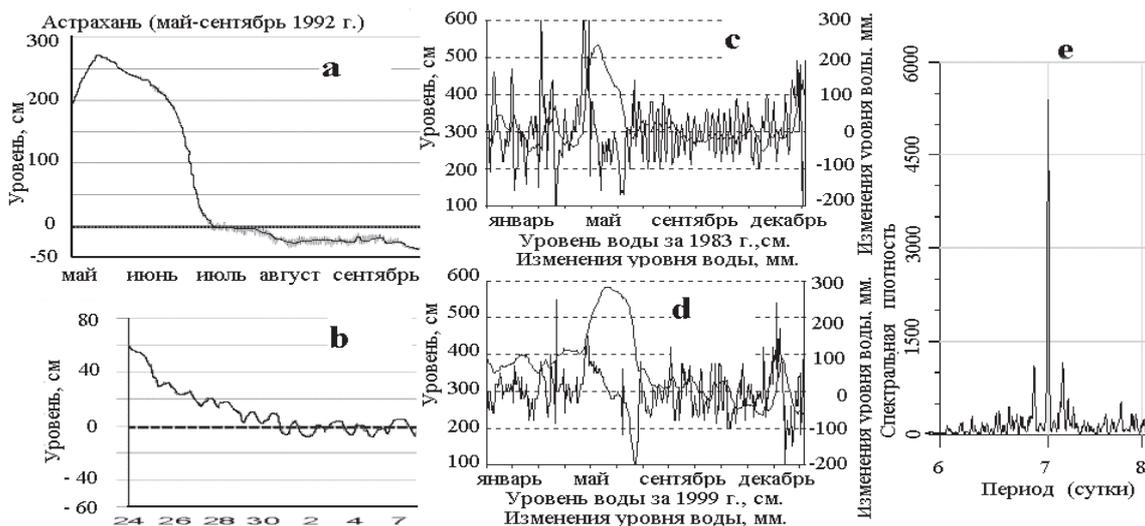


Рис. 3. Запись уровня на в/п Астрахань (рис.3.б - увеличенный фрагмент рис.3.а с 24.05 по 07.06.1992 г.).  
 Ход уровня на в/п Астрахань в 1983 г. (рис.3.с) и 1999 г. (d).  
 Спектральная плотность колебаний уровня воды (e) на Нижней Волге в 1992-2003 гг. [8]

### Интенсификация солевого перемешивания за счет пиковых попусков воды и ее влияния на био-продуктивность моря

Интенсивность солевого перемешивания речных и морских вод в Северном Каспии обусловлена условиями добегаания стоковых волн от Волгограда до моря. Эти условия различны в зависимости от уровня воды, интенсивности попуска, зарастания Волги водной растительностью, ветра, сгонно-нагонных явлений. Так, например, по западному рукаву Волги (Бахтемиру) волны добегают от Астрахани до моря за 1,5-3,5 суток, по восточным рукавам – за 3,5-7 суток [2, 4, 12]. Поэтому при поиске связей солености воды в море с попусками воды оказалось удачным опираться не на жесткие по времени суточные сдвиги добегаания воды от Астрахани до моря, а в пределах  $\pm 1$  дня к этим сдвигам, т.е. учитывать особенности распространения стоковых волн. Из сопоставления изменений солености воды в море и высоты стоковых волн (рис.4.) следует, что при пиковых попусках с ГЭС по морскому краю дельты имеется тенденция к уменьшению солености воды от поверхности до дна. В восточной части Мангышлакского порога наблюдается обратная тенденция – стоковые речные воды поджимают морскую воду к восточному берегу, что приводит к ослаблению перемешивания, росту солености воды.

Скорость перемешивания речных и морских вод порой такова, что менее чем за полчаса соленость у дна изменяется более чем на 2‰ (рис.5, точка №2 с рис.4). В результате таких антропогенных воздействий на морскую биоту обрушивается речная биота, а через несколько часов-дней возвращается солоноватая вода с морской биотой. Причем каждая из биот не может «переждать» возврата своей воды, так как переход солености воды через 5-8‰ приводит к изменению осмотического давления, несовместимого с жизнедеятельностью многих видов биоты, особенно мальков рыб и бентоса [1, 3, 13, 14]. Так, например, граница массового распространения молоди воibly ограничена изогалиной 10‰, леща и судака - 7-8‰ [3]. Согласно оценкам [12], площадь струй волжских вод в северо-западной части Каспия (область стресса) занимает до трети его площади. При скорости ветра свыше 9 м/с соленость воды в море слабо зависит от волгоградских попусков и превышает 9‰, так как волжская вода перемешивается с морской у волжских баров. Усиление скорости ветра в море, как правило, связано с прохождением в регионе анемобарических волн. На рл. снимках прохождение этих волн отображается в виде цугов длинных волн (рис.6) на морской поверхности.

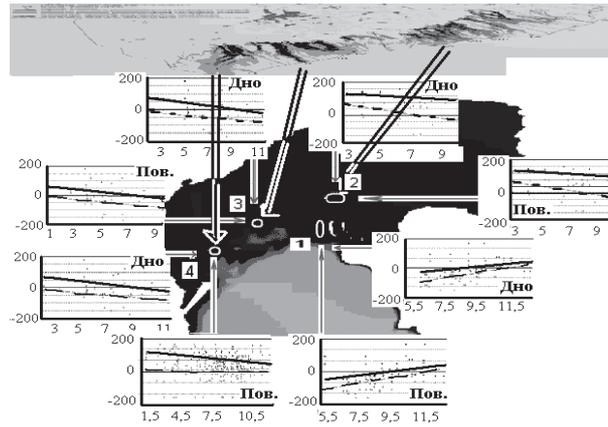


Рис. 4. Изменения солёности воды на поверхности и у дна в 4-х точках Северного Каспия. Для точек 1 и 2 использовались данные по солёности через 4-7 суток после скачков уровня в Астрахани, для точек 3 и 4 – через 1-4 суток. Сплошными линиями на врезках даны линии трендов, соответствующие макс. суточным приращениям уровня, пунктиром – макс. снижениям уровня. На верхней врезке растительность вдоль каналов и водотоков дельты [12], на трассе основных каналов находятся точки 2-4 (от этих каналов к точкам 2-4 идут стрелки)

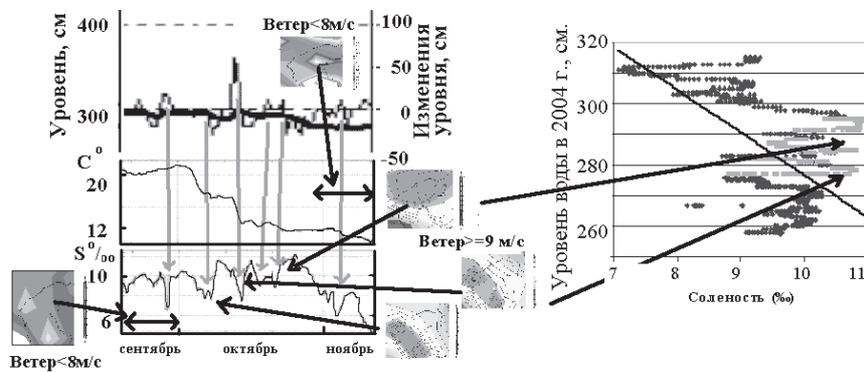


Рис. 5. Ход уровня воды на в/п Астрахань и его изменений за сутки (вверху), температуры воды (в центре) и солёности воды у дна (внизу) с 18.09 по 10.11.2004 г. в точке №2. Стрелками сверху вниз показано временное соответствие прохождения стоковых волн через в/п Астрахань и изменением придонной солёности в море (график уровней воды сдвинут относительно нижних графиков на 4 суток). На врезках средняя скорость ветра по полю давления. В сентябре и ноябре тихая погода, в октябре 7-10, 15-18, 22-25 - перестройка барического поля, ветер, волнение [<http://www.cdc.noaa.gov/histdata/>], [<http://www.ssmi-data.com/>]. Справа дано сопоставление солёности и уровня воды; темным фоном окрашены данные при тихом-легком ветре, серым фоном – при свежем ветре (линия тенденции проведена для условий тихого-легкого ветра)

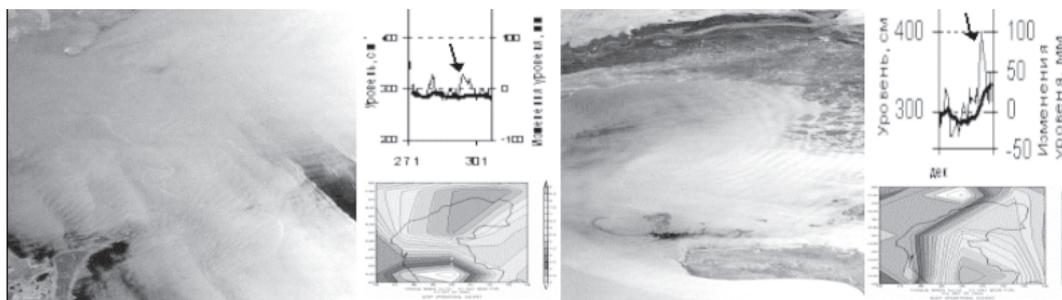


Рис. 6. На рл. снимке в центре Каспия 24.10.2003 г. (слева) видны две структуры волн (на верхней врезке стрелкой показана небольшая стоковая волна в начале третьей декады октября). Одна структура коротких волн идет со стороны Волги (возможно, это отображение прохождения суточной стоковой волны с ГЭС). Другая структура, с длинами волн на порядок больше, идет вдоль дельты Волги, по-видимому, это проявление барических волн над Каспием (нижняя врезка). На рл. снимке от 30.12.2004 г. (справа) наблюдаются круговые волновые структуры, видимо, они обусловлены быстрым прохождением аномобарической волны, изменением поля давления над морем. Прохождение этой волны (правая нижняя врезка [<http://www.cdc.noaa.gov/histdata/>]) совпало с прохождением стоковой волны по морю (стрелка на правой верхней врезке)

## Спутниковые снимки и сопутствующая информация о Северном Каспии в период выхода в море стоковых волн

Выход стоковых волн из волжских рукавов и каналов и их распространение по Северному Каспию отображается на рл. снимках (рис.7,8). Последствия прохождения стоковых волн проявляются и в полях хлорофилла (рис.9). А именно, повышенное содержание хлорофилла в море наблюдается, как правило, на траверзе волжских каналов. Стоковые волны выплескивают за волжские бары речную воду, не прошедшую биологический фильтр дельты. В результате в море попадает антропогенно обусловленное повышенное количество примесей, вызывающих повышенную эвтрофикацию моря (хлорофилла, гидрозолей, биогенов и нефтяных углеводородов) и эти приращения примесей направляются в зону будущих вышек «Лукойла» [1].

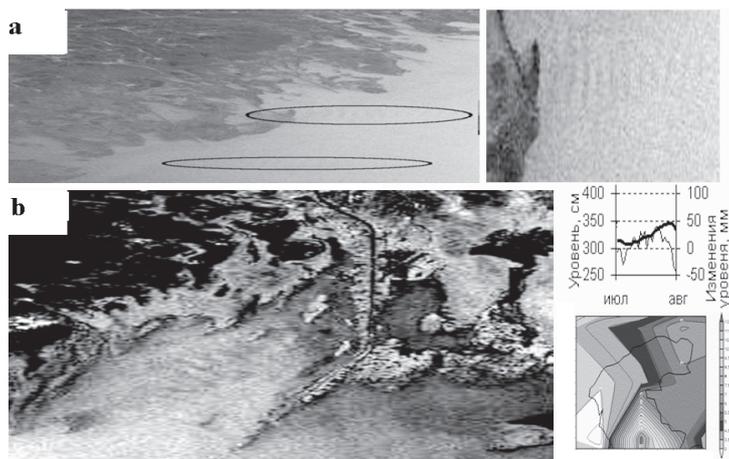


Рис. 7. Рл. снимок 21.01.2005 г. выплеска стоковых вод из волжских рукавов и каналов. На рис.7.а эллипсами обведены цуги волн, идущие из волжских рукавов и каналов; на врезке справа дан увеличенный фрагмент верхнего цуга волн. От рукава Бахтемир (рис.7.б.) 14.07.2003 г. распространяется цуг волн. По видимому, это прохождение суточной стоковой волны, так как с 01.07 по 01.08 2003 г. в ходе уровня воды в Астрахани не зарегистрировано пиковых попусков вод (центральная врезка справа), 14.07.2003 г. над северо-западной акваторией Каспия был слабый ветер ([<http://www.cdc.noaa.gov/histdata/>], [<http://www.ssmi-data.com/>])

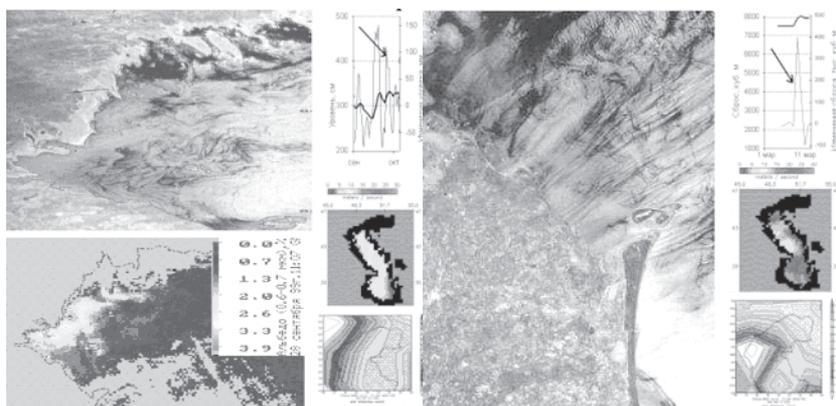


Рис. 8. Вверху слева рл. снимок с ERS-2 29.09.1999 г.; справа от него на верхней врезке - уровень воды и его суточные изменения с 01.09 по 01.10; стрелкой показана стоковая волна, проходившая через Астрахань 25-27.09.1999 г., через 2-3 суток волна дошла до моря и проявилась на рл. снимке в виде цуга волн; скорость ветра в море 29.09.1999 г. не превышала 4-6 м/с (нижние врезки [<http://www.cdc.noaa.gov/histdata/>], [<http://www.ssmi-data.com/>]). Снизу - карта альбедо гидрозолей 28.09.1999 г. по AVHRR/NOAA. Мутные речные воды текут от западных рукавов Волги в море. Справа рл. снимок с ENVISAT 16.03.2005 г. На нем отчетливо видны волновые структуры, обтекающие Аграханский п-ов. По всей видимости, это отображение распространения стоковой волны из Волго-Каспийского канала по поверхности моря. На правой верхней врезке от этого рис. попуски воды с ГЭС в м<sup>3</sup> в сек. с 05.03 по 13.03.2005 г., стрелкой показан попуск 10.03-11.03.2005 г., волна от которого через 6-7 суток достигла моря; скорость ветра в море 16.03.2005 г. не превышала 4 м/с (нижние правые врезки [<http://www.cdc.noaa.gov/histdata/>], [<http://www.ssmi-data.com/>])

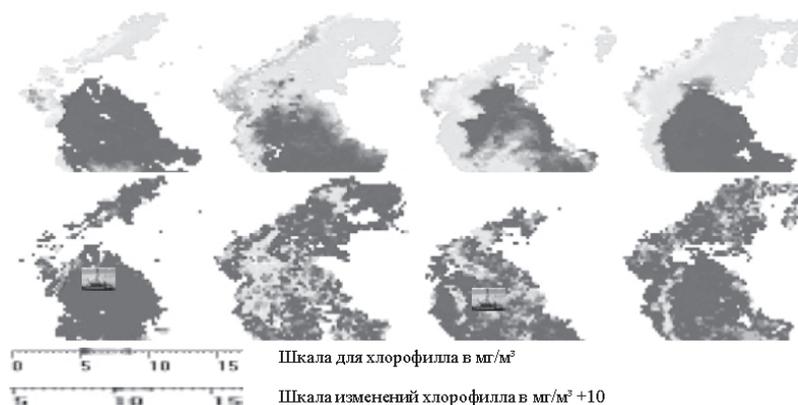


Рис. 9. Верхний ряд – минимальное содержание хлорофилла в верхней толще вод в даты близкие ( $\pm 1-4$  суток) к датам прохождения по морю фронта стоковых волн (даты достижения стоковыми волнами Астрахани 25.03.1999 г., 25.09.1999 г., 06.04.1998 г. и 26.04.2000 г слева направо [<http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>]). Нижний ряд – разница между максимальными величинами содержания хлорофилла в толще воды в период прохождения стоковых волн по Северному Каспию и минимальным содержанием хлорофилла в соседние даты с верхнего ряда. Врезки в нижнем ряду – снимок морской буровой платформы

### Влияние зимних попусков на ледовый покров

Зимние пиковые попуски воды приводят к тому, что волжская вода выплескивается в море из под льда на десятки километров мористее, чем летом [2]. Из нее быстрее, чем из солоноватой морской моды образуется лед. При северных ветрах он выносится туда, где его при данной гидрометеорологической ситуации не должно было быть - за Мангышлакский порог (рис.9), т.е. осуществляется антропогенно обусловленная «транспортировка» льда на юг, улучшающая аэрацию Среднего Каспия за счет интенсификации плотностной конвекции при таянии льда. Возможно, это единственное, экологически не вредное, воздействие пиковых попусков воды на гидрологию моря в период потепления климата в Каспийском регионе [15] (напрашивается аналогия с предложениями по буксировке айсбергов ледоколами от Антарктиды в теплые моря для усиления конвекции и «борьбы», например, с Эль-Ниньо). Однако с волжской водой в Средний Каспий поступают и нефтяные углеводороды [1]. Для управления процессом аэрации Среднего Каспия, следует планировать попуск воды в момент значительного развития припая за Волго-Каспийским каналом при наличии прогноза о северном ветре и морозной погоде через неделю. Однако в ближайшие годы в этом регионе появятся нефтегазовые вышки и нефтепроводы «ЛУКОЙЛА», и, может, получится «торпедирование» их стамухами и торосами имени «РАО ЕС».

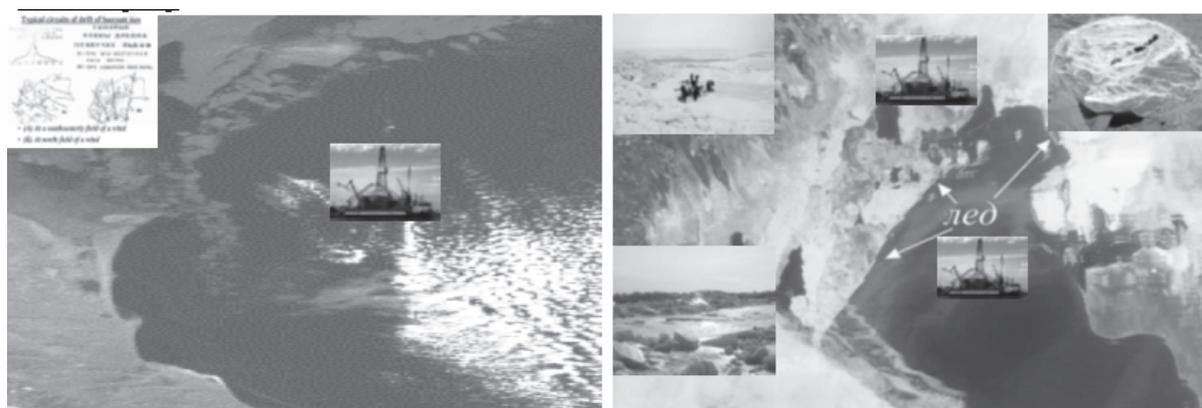


Рис. 10. Снимки льда на Каспии, на которых видно, как битый лед огибает Астраханский п-ов. Слева композиция из снимков LANDSAT 10.02.2005 г.; справа снимок с ИСЗ «TERRA» 06.03.2003 г.; врезки: из [Бухарицын П.И. Исследование Каспийских льдов, [http://www.ecoline.ru/books/ed\\_catalog/chart4/html](http://www.ecoline.ru/books/ed_catalog/chart4/html)], левая верхняя врезка на правом снимке - стамуха на Каспии 16.02.2003 г. [[info@infomarcompany.com](mailto:info@infomarcompany.com)]

## Аналогии солевого перемешивания на непреливных взморьях зарегулированных рек

В работе [2] приведен ход солености на взморье р. Днепра (рис.11). Из его анализа следует, что суточные изменения солености воды на поверхности составляют от 2 до 7 ‰, на дне превышают 6-8 ‰. Это означает, что гидрологические и гидробиологические условия взморья определяет график работы Днепровской ГЭС. В графике работы отсутствует механизм демпфирования суточных попусков (нет совмещения графика работы ГЭС и ТЭЦ, нет и демпферного водоема после ГЭС). В результате фауна и флора берегов и взморья вместо природных условий воспроизводства ежедневно находится в стрессовых условиях «критической солености биологических процессов» [13], а берега в условиях обсыхания-намокания - эрозии.

Согласно оценкам специалистов ВНИРО выплеск рыбы в старицы, ямы за бровку берега приводит к гибели до 30% рыбы за счет обсыхания, выедания птицами и млекопитающими [16]. Таким образом, режим работы Волгоградской ГЭС, включая пиковые попуски с нее и урезанные сроки весенне-летнего половодья, приводит к катастрофическому падению популяций рыб в море (см. например, рис.2.а, [3]).

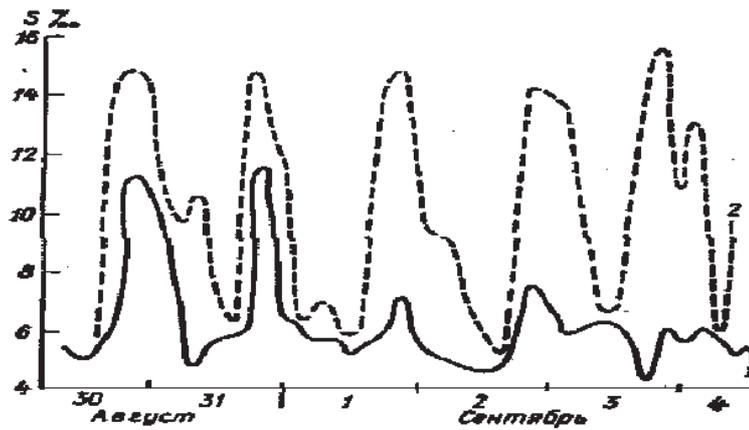


Рис. 11. Кратковременные изменения солености воды при расположении слоя скачка солености воды в придонном горизонте на взморье р. Днепра в августе-сентябре [2] (пунктир – дно, непрерывная линия – поверхность)

## Моделирование распространения стоковой волны от Волгоградской ГЭС до дельты

Для оценки возможной изменчивости полученных результатов – трансформации стоковой волны от Волгограда до Среднего Каспия, границ и амплитуд стрессовых для биоты изменений солености в море, начато моделирование распространения Волгоградского попуска вниз по Волге и далее в море. Ниже представлены первые результаты моделирования.

Вычислим фазовую скорость и декремент затухания волн попуска. Уравнения движения жидкости на наклонной плоскости имеют вид [17]

$$h_t + u h_x + h u_x = 0$$

$$u_t + u u_x + g' h_x = g' S - C_f \frac{u^2}{h}, \quad (1)$$

где  $h$  - полная глубина,  $u$  - осредненная по глубине скорость течения,  $C_f$  - коэффициент сопротивления в квадратичном законе трения,  $g' = g \cos \alpha$ ,  $S = \tan \alpha$ ,  $g$  - ускорение свободного падения,  $\alpha$  - уклон русла, индексы внизу означают частные производные по этим переменным.

Из системы (1) следует уравнение кинематических волн на наклонной плоскости [18]

$$h_t + \frac{3}{2} \left( \frac{g h \sin \alpha}{C_f} \right)^{1/2} h_x = 0 \quad (2)$$

откуда получим выражение для фазовой скорости этих волн

$$\sigma = \frac{3}{2} \left( \frac{gh \sin \alpha}{C_f} \right)^{1/2} \quad (3)$$

Таким образом, время добегания волны попуска от Волгоградской ГЭС до Астрахани и до устьевоего взморья можно вычислить, используя соотношение (3). При средней глубине русла  $\approx 10$  м,  $C_f = 0.001$ ,  $\alpha \approx 10^{-5}$  получим, что волна попуска достигает Астрахани (расстояние от Волгограда до Астрахани около 500 км.) примерно за 3-4 суток, а сами сбросные воды достигнут Астрахани в соответствии с формулой (2) позже в полтора раза, т.е. примерно за 5-6 суток.

Для вычисления декремента затухания волны попуска линеаризуем систему (1) относительно стационарного решения  $u = u_0 + w$ ,  $h = h_0 + \eta$ . Ищем решение полученного уравнения в виде  $\eta = A \exp[i(kx + \omega t)]$ , тогда действительная часть волнового числа  $k$ , будет давать длину волны, а мнимая часть – декремент затухания. Получим следующее дисперсионное соотношение

$$k = - \frac{(2u_0\omega - c_0R) - \sqrt{(2u_0\omega - c_0R)^2 + 4(u_0^2 - g'h_0)(\omega R - \omega^2)}}{2(u_0^2 - g'h_0)} \quad (4)$$

Расчеты показывают, что амплитуда волн попуска при их движении от Волгограда до Астрахани уменьшается для средней глубины русла 10 м примерно в 3-4 раза. Последнее означает, что при попусках, приводящих к повышению уровня в нижнем бьефе Волгоградского водохранилища на 1-2 метра, следует ожидать повышения уровня в Астрахани около 15-20 см.

Ветер влияет на величину коэффициента сопротивления русла, что в конечном итоге сказывается как на времени добегания волны попуска от Волгоградской ГЭС до Астрахани и до устьевоего взморья, так и на длине волны и на декрементае ее затухания. Используя полумпирическую теорию турбулентности можно показать, что встречный ветер со скоростью 10 м/с может увеличить время добегания волны попуска до Астрахани почти на сутки.

## Выводы

1. По радиолокационным и оптическим изображениям дешифрованы особенности динамики и ареал распространения в море стоковых и сточных вод – основных транспортировщиков в море примесей и загрязняющих веществ, включая нефтяные углеводороды. Использование спутниковой информации совместно с наземными данными позволило шире, углубленнее взглянуть на состояние окружающей среды.

2. Пиковые попуски воды с ГЭС приводят к скачкообразным, природой не обусловленным, изменениям солености воды, несовместимым с жизнью для значительной части биоты. Из за этих попусков биота устьевоего взморья Волги ежедневно находится не в природных условиях воспроизводства, а в стрессовых условиях «критической солености биологических процессов»; берега - в условиях обсыхания и эрозии. Стоковые волны выплескивают на берег рыбу, а в море дополнительное количество примесей и загрязняющих веществ. С пиковыми попусками в конце кварталов и после праздников сбрасывается вода из водохранилищ, так необходимая в половодье для комфортных условий воспроизводства биоты.

3. Зимними попусками осуществляется антропогенно обусловленная «транспортировка» льда на юг, улучшающая аэрацию Среднего Каспия. Возможно, это единственное, экологически не вредное, воздействие пиковых попусков воды (за исключением весеннего половодья) на гидрологию моря. Для управления этим процессом, следует планировать попуск воды во время значительного развития припая у Волго-Каспийского канала при наличии прогноза о северных ветрах и морозной погоде через неделю. Однако в ближайшие годы в этом регионе появятся нефтегазовые вышки и нефтепроводы «ЛУКОЙЛА» и, может, получится «торпедирование» их стамухами и торосами «РАО ЕС».

Результаты работы можно уточнять. Получить более определенные связи-зависимости между попусками воды с ГЭС и изменениями солености воды, а также других компонент и примесей в воде;

разработать рекомендации по вылову рыбы в пределах выделенных квот именно на акваториях, где ожидаются стрессовые условия для рыбы; оценить интенсификацию размыва берегов, заносимость рыбопропускных и судоходных каналов. Однако очевидно, что **существующие режимы работы ГЭС – пусковой механизм повышенной эвтрофикации водотоков и водоемов. Необходимо создание демпферного водоема после ГЭС объемом недельного попуска вод в межень**; для волгоградской ГЭС это 3-5 км<sup>3</sup>.

## Литература

1. Экологическая политика ОАО «ЛУКОЙЛ» на Каспийском море. Т. 1 // Астрахань, 2000. 133 с.
2. Полонский В.Ф., Лупачев Ю.В., Скриптунов Н.А. Гидролого-морфологические процессы в устьях рек и методы их расчета (прогноза) // СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 383 с.
3. Гидрометеорология и гидрохимия морей. Том VI. Каспийское море. Вып. 2. Гидрохимические условия и океанографические основы формирования биологической продуктивности // СПб.: Гидрометеиздат, 1996. 323 с.
4. Устьевая область Волги: гидролого-морфологические процессы, режим загрязняющих веществ и влияние колебаний уровня Каспийского моря // РФФИ, 1998. 280 с.
5. Анисимова И.М., Лавровский В.В. Ихтиология // М.: Агропромиздат, 1991. 288 с.
6. Летичевский М.А., Васильченко О. Н., Горюнова В.Н. Итоги и задачи исследований по воспроизводству рыбных запасов в низовьях Волги // Развитие рыбохозяйственных исследований на Каспии. Астрахань: Нижневолжское книжное издательство, 1980. С.113-126.
7. Лебедев С.А., Костяной А.Г. Спутниковая альтиметрия Каспийского моря // М.: Изд. центр Мир, 2005. 366 с.
8. Полонский В.Ф. Методика определения по натурным данным характеристик нагонов в отмелой зоне взморья и в дельте Волги // Метеорология и гидрология, 2003. №11. С.72-81.
9. Люшвин П.В., Зырянов В.Н., Егоров С.Н. и др. Влияние регулирования стока Волги на гидрологию Северного Каспия // Тезисы докладов международного семинара Современные технологии мониторинга и освоения природных ресурсов южных морей 15-17 июня 2005 г. Ростов-на-Дону: Изд. ООО «ЦВВР», 2005. С.104-105.
10. Lyushvin P.V., Egorov S.N., Nikitin P.A. Use of Satellite Data in Monitoring of the Caspian Sea Biota 31st International Symposium on Remote Sensing of Environment // Saint Petersburg, 2005.
11. Брылев В.А. Опыт классификации антропогенных изменений природных условий некоторых районов Волго-Ахтубинской поймы // Сборник статей под ред. Кубанцева Б.С. и др. Волгоград, 1978. С. 3-7.
12. Ковалев Е.Э. Динамика мелководного взморья р.Волги по данным космических съемок // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата географических наук. М.: ООО «Ново-Пресс», 2005. 24 с.
13. Хлебович В.В. Критическая соленость биологических процессов // Л.: Наука, 1974. 235 с.
14. Осадчих В.Ф. Гидробиологические исследования на Каспии // Развитие рыбохозяйственных исследований на Каспии. Астрахань: Нижневолжское книжное издательство, 1980. С.48-61.
15. Пахомов Л.А., Люшвин П.В., Чернявский Е.Б. Учет искажающего влияния атмосферы при оценке альбедо и температуры поверхности Каспийского моря по данным аппаратуры AVHRR спутников NOAA // Исследование Земли из космоса, 2004. Вып.4. С.68-72.
16. Водные биологические ресурсы северных Курильских островов // М.: ВНИРО, 2000. 163 с.
17. Baines P.G. Topographic Effects in Stratified Flows. Cambridge Monographs on Mechanics. // Cambridge University Press, 1995. 452 p.
18. Уизем Дж. Линейные и нелинейные волны // М.: Мир, 1977. 624 с.