

## ВОДНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ

УДК 597-15(262.81+282.247.41)

### ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ РЫБНЫХ ЗАПАСОВ ВОЛГО-КАСПИЙСКОГО БАССЕЙНА

© 2012 г. О.Н. Рылина, Н.В. Карыгина, Е.Г. Лардыгина, О.В. Попова,  
Е.А. Кравченко, Н.В. Галушкина, Л.В. Дегтярева, Э.С. Попова, Е.В. Галлей  
ФГУП «Каспийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства»,  
Астрахань, 414056

Статья поступила в редакцию 4.07.2012 г.

В статье приведены результаты исследований абиотических факторов среды оказывающих воздействие на формирование продукционных свойств водотоков низовий р. Волги и Каспийского моря. В условиях крайне непродолжительного половодья сохраняется эвтрофирование вод, отмечен рост органического загрязнения (по нефтепродуктам, фенолам, пестицидам), концентрации остальных токсикантов, в основном, оставались на уровне среднесезонных величин.

*Ключевые слова:* низовья р. Волги, гидрологический режим, половодье, гидрохимический режим, сток биогенных веществ, поллютанты.

### ВВЕДЕНИЕ

Водные экосистемы представляют собой уязвимый элемент биосферы, чутко реагирующий на различные проявления антропогенного пресса, который неизбежно возникает при комплексном использовании вод. При этом нарушается их структура и условия нормального функционирования экосистем, ведущие к снижению биологической продуктивности водных объектов, в том числе и рыбопродуктивности.

Низовья р. Волги – уникальная в экологическом отношении экосистема, где проявляются все естественные (колебания климатических параметров и др.) и антропогенные изменения (развитие промышленности на водосборе, трансграничные поступления) стока и качества речных вод бассейна. Волжский сток, годовой объем которого составляет около 80% поверхностного стока в море, играет решающую роль в формировании гидрологического, гидрохимического режима и биологической продуктивности, как северной части моря, так и всего Каспия (Катунин и др., 2007).

Целевыми исследованиями являлось изучение пространственно-временных вариаций гидролого-гидрохимических и эколого-токсикологических параметров в низовьях р. Волги, влияющих на условия формирования рыбных запасов Волго-Каспийского бассейна.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При выполнении гидролого-гидрохимических исследований во время комплексных экспедиций, организованных ФГУП «КаспНИРХ», в коренном русле и водотоках дельты р. Волги проводились измерения температуры воды, растворенного в воде кислорода, определения взвешенных наносов, минеральных форм и валового фосфора, аммонийного, нитритного, нитратного и валового азота, кремниевой кислоты, бихроматной и перманганатной окисляемости, органического вещества, хлорофиллов «а», «b», «с», феофитина и каротиноидов. Определение уровня загрязнения водной среды проводили по следующим показателям:

экстрагируемым нефтяным углеводородам (ЭНУ), соединениям фенола; хлорорганическим пестицидам (ХОП), тяжелым металлам (ТМ). Отбор, подготовка и химический анализ проб речной воды и донных отложений выполнялся в соответствии с нормативными документами и методическими руководствами (Инструкция по сбору..., 2011).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Особенности гидрологического режима и объем стока р. Волги во многом определяют эффективность естественного воспроизводства рыбных ресурсов, т.е. формирование запасов наиболее ценных видов рыб (осетровые, вобла, сазан, судак, лещ и др.) Волго-Каспийского бассейна в решающей степени определяется условиями обводнения нерестилищ в период весеннего половодья (апрель-июнь), объемами и сроками подачи воды из Волжско-Камского каскада водохранилищ в дельту Волги и Волго-Ахтубинскую пойму (Катунин и др., 1977).

В результате неудовлетворительного обводнения нерестилищ, условия естественного воспроизводства рыбных ресурсов в низовьях р. Волги в 2011 г. были крайне неудовлетворительными, как и предшествующие шесть лет. Объем стока за II квартал составил всего 77,2 км<sup>3</sup>, а продолжительность половодья – 38 сут., что соответственно на 58 км<sup>3</sup> и 1,5 мес. меньше, чем в условиях естественной водности реки (табл. 1).

**Таблица 1.** Гидрологические характеристики половодий в дельте р. Волги.  
**Table 1.** Hydrological parameters of floods in the Volga River delta.

Характеристики	Годы, периоды лет				
	2011	2010	2009	1959-2010	1930-1955
Дата начала половодья	1.05	3.05	26.04	27.04	27.04
Отметка максимального уровня по в/п Астрахань, см	536/235	557/256	550/249	562/361	586/285
Дата наступления максимального уровня	18.05	17-19.05	12.05	23-25.05	07-09.06
Дата окончания половодья	7.06	17.06	14.06	21.06	19.07
Продолжительность половодья, сут.	38	46	50	60	84
Сток р. Волги за II квартал, км <sup>3</sup>	77,2	91,0	92,6	105,6	135,4
Биопродукционный сток, км <sup>3</sup>	49,5	64,1	73,6	89,2	130,0

Биопродукционный сток (49,5 км<sup>3</sup>) в апреле-июне в период обводнения нерестилищ рыб составил только 38% от биогидрологической оптимальной нормы (130 км<sup>3</sup>) и 56% от минимально необходимого объема воды для обеспечения получения жизнестойкой молоди рыб.

Зарегулирование стока р. Волги каскадом водохранилищ привело к нарушению гидрологического режима нижнего течения и дельты. Уменьшился годовой сток, и произошло внутригодовое его перераспределение. Значительно сократилась водность в период весеннего половодья, и повысился сток в зимние месяцы (Катунин, и др., 2001).

В 2011 г. рыбохозяйственное половодье в дельте Волги началось в первой декаде мая (1 мая). Нерестовые температуры для ранненерестующих рыб (судак, вобла) были достигнуты в конце III декады апреля, когда залитие нерестилищ этих рыб еще не произошло. В этих условиях рыба нерестилась не в свойственных по экологии этим рыбам биотопах, с малой эффективностью такого нереста. Максимальный уровень половодья зафиксирован 18 мая и составил у Астрахани

536 см, что на 21 и 26 см ниже средней величины прошлого года и периода зарегулированного стока. После прохождения пика половодья, в течение последующей недели уровень воды резко снизился на 20 см, что привело к оттоку воды с пойм и соответственно сокращению площади залитых нерестилищ (по сравнению с 2010 г. в 1,3 раза, а с 1930-1955 гг. в 1,9 раза). Относительно прошлого года рыбохозяйственное половодье завершилось раньше на 10 дней – 7 июня. Экстремально низкое по объему и продолжительности половодье крайне негативно сказалось на воспроизводстве рыбных запасов и формировании кормовой базы ценных промысловых рыб Волго-Каспия. Можно ожидать, что численность поколений основных промысловых видов рыб в 2011 г. будет находиться на уровне самых экстремально маловодных лет (1984 и 2006 гг.).

Формирование гидрохимического режима дельты Волги происходило на фоне развития современных экосистемных процессов, обусловленных поступлением в низовья Волги повышенных концентраций биогенных веществ.

К важнейшему фактору, влияющему на физические, химические и биологические процессы, протекающие в водоеме, относится температура воды, от которого в значительной мере зависят кислородный режим и интенсивность процессов самоочищения.

Сравнивая среднюю температуру воды за первые 10 лет XXI в. со среднемноголетним периодом 1960-2010 гг., следует отметить, что в результате глобального потепления климата, в низовьях р. Волги произошло увеличение среднегодового значения на  $0,5^{\circ}\text{C}$  и среднемесячных величин на  $0,1-1,0^{\circ}\text{C}$ . В 2011 г. повышенный теплозапас речных вод в начале зимы ( $4,0^{\circ}\text{C}$  декабрь), высокий прогрев в летний период ( $24-25^{\circ}\text{C}$ ) и сохранение благоприятных температурных условий в начале сентября ( $20-22^{\circ}\text{C}$ ) способствовали активизации продукционных процессов в дельте Волги в течение всего вегетационного периода.

Величина концентрации ионов водорода (рН) имеет большое значение для химических и биологических процессов, проходящих в природных водах, а так же влияет на процессы трансформации различных биогенных элементов, изменяет токсичность загрязняющих веществ. Показатели активной реакции водной среды (рН) находились в интервале 7,94-8,46. Увеличение значений рН от зимы к лету, с сохранением высоких показателей в осенний период свидетельствует о высоком уровне развития продукционных процессов в Волге в течение всего вегетационного периода. В последние годы наблюдается тенденция к снижению концентраций ионов водорода зимой, что отражает усиление окислительно-восстановительных процессов в этот период в нижних водохранилищах Волжско-Камского каскада, свидетельствующее о повышении уровня минерализации органического вещества и тем самым увеличение поступления минеральных форм биогенных веществ.

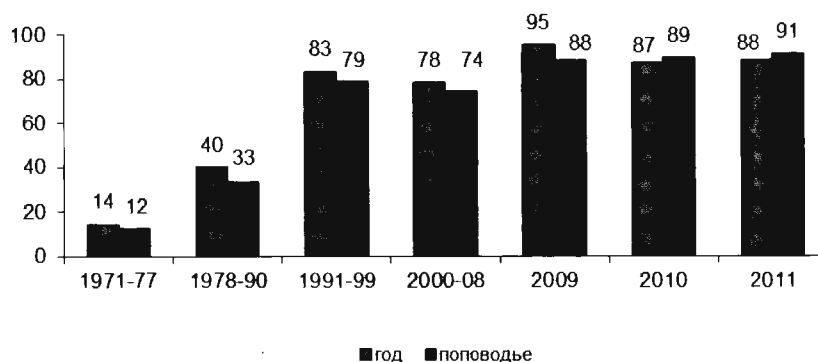
На фоне интенсификации продукционных процессов, кислородный режим коренного русла Волги и водотоков дельты в 2011 г. в дневное время суток был удовлетворительным, превысив среднемноголетнюю величину на 7% (2000-2010 гг.). Абсолютное содержание кислорода характеризовалось относительно высокими величинами (8,24-14,91 мг/л). По сравнению с предыдущими годами, летом 2011 г. не наблюдалось ухудшения кислородного режима в кулечных зонах отмелого устьевое пространство р. Волги. Наиболее низкие концентрации кислорода (5,67-6,92 мг/л) отмечены осенью (в сентябре) в предутренние часы в забровочном

пространстве Волго-Каспийского (ВКК) и Белинского каналов. При этом относительное содержание кислорода, которое является более информативным показателем биологических процессов в реке, не снижалось в период осеннего отмирания фитопланктона и высшей водной растительности ниже 71%, что не должно было лимитировать нагульные миграции промысловых рыб в дельте Волги.

Биогенная составляющая гидрохимического состояния водоема характеризовалась высокими концентрациями питательных веществ. Содержание минерального фосфора изменялось от 38 до 144 мкг/л, минерального азота – от 420 до 811 мкг/л, кремниескислоты – от 2 018 до 4 355 мкг/л, что определило благоприятные условия для вегетации фитопланктона – продукционной основы для развития последующих трофических звеньев.

Повышенные концентрации биогенных веществ наблюдались не только в холодное время года (зима, осень), но и на пике половодья, когда происходило интенсивное перемешивание речных вод и поступление из водохранилищ вод болотного генезиса. Концентрации фосфатов варьировали от 85 до 144 мкг/л, нитратного азота (преобладающего среди минеральных форм азота) – от 406 до 703 мкг/л. В значительном количестве (168-225 мкг/л) в волжской воде зафиксирован аммонийный азот.

Средняя концентрация (88 мкг/л) минерального фосфора в р. Волге у г. Астрахани находилась на уровне показателей предыдущих лет, превысив многолетнюю величину (1971-1977 гг.) за период половодья в 6,3 раза, что свидетельствует об усилении процессов эвтрофикации (рис. 1).



**Рис. 1.** Многолетняя динамика содержания минерального фосфора в р. Волге, мкг/л.

**Fig. 1.** Long-term dynamics of the content of mineral phosphorus in the Volga River, µg/l.

Содержание минерального азота (596 мкг/л) незначительно превысило показатели предыдущего года, в результате увеличения концентраций всех форм азота. Сохранилась тенденция к снижению (с 88 до 68%) процентного содержания нитратного азота и повышению долевого содержания аммонийного азота (с 11 до 27%) и нитритного азота (с 1 до 5%), свидетельствующее об усилении первичных продукционных процессов, а также разложении органического вещества.

Максимум содержания аммонийного азота в водотоках дельты приходился на лето – период максимального развития органической жизни в водоеме, когда его концентрации по сравнению с весной увеличились более чем в 1,5 раза, достигнув очень высокой величины (225 мкг/л). Доля аммонийного азота в составе минеральных форм возросла с 29 до 38%. Многолетние изменения минеральных форм азота свидетельствуют об усилении продукционных процессов в нижнем

течении Волги и тем самым увеличении аммонийного иона. Так, в 1990-е гг. его доля составляла 11%, к 2011 г. достигнув 27%, т.е. на фоне усиления потребления нитрат-иона фитопланктоном, содержание аммонийного иона возросло в 2,7 раза.

Необходимо отметить, что на современном этапе исследований сохраняется тенденция к усилению процессов, ведущих к эвтрофикации основных водотоков дельты. По содержанию основных биогенных веществ (нитратный и нитритный азот) волжские воды соответствовали эвтрофным весь вегетационный период (табл. 2).

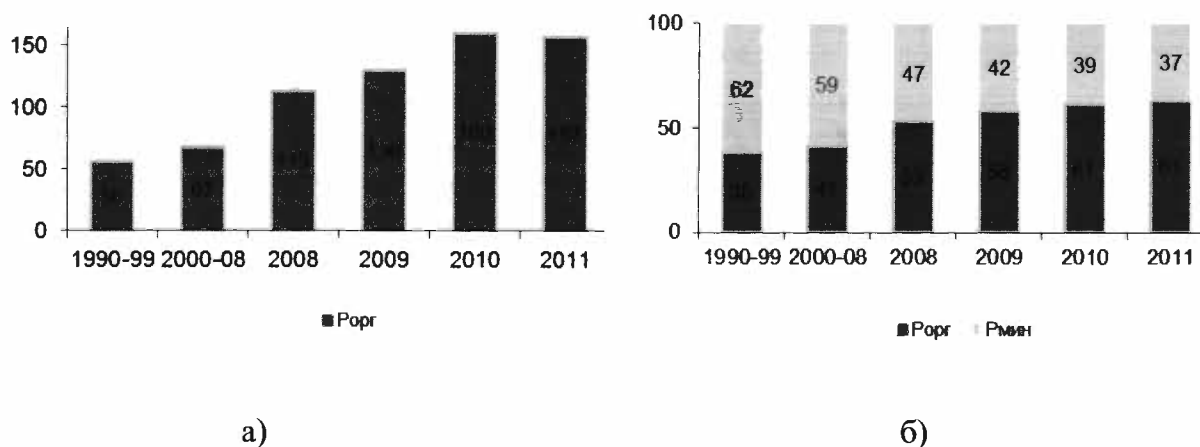
**Таблица 2.** Среднегодовая концентрация биогенных веществ р. Волге.

**Table 2.** Average annual concentration of biogenic substances in the Volga River.

Периоды, годы	NO <sub>2</sub> , мкг/л	NO <sub>3</sub> , мкг/л	ОВ, мг/л
1971-1977	6	72	15
1978-1990	13	93	24
1991-1999	10	212	17
2000-2008	16	553	22
2009	15	460	31
2010	20	401	29
2011	24	416	34

В 2011 г. в составе валовых концентраций фосфора и азота на всех исследуемых водотоках дельты преобладала органическая форма, что свидетельствует о преобладании продукционных процессов над деструкционными.

Содержание органического фосфора оставалось на высоком уровне (176-270 мкг/л) и преобладало в составе валового фосфора (до 84%) над минеральной составляющей. Повышенным уровнем его содержания характеризовался волжский сток в створе в/п Астрахань (рис. 2).



**Рис. 2.** Многолетняя динамика содержания органического фосфора (а) и соотношение форм фосфора (б), мкг/л, %.

**Fig. 2.** Long-term dynamics of the content of organic phosphorus (a) and relationship between its forms (b), µg/l, %.

На высоком уровне сохранились концентрации кремнекислоты, органического и взвешенного вещества. Более интенсивно процесс биодеструкции диатомового фитопланктона происходил в нижней зоне Кировского канала, где содержание кремния в сентябре достигало 3 941 мкг/л. Концентрация взвешенного вещества колебалась от 14 до 72 мг/л, с формированием повышенных значений в половодье (56-72 мг/л) и в период массового цветения воды летом, когда

содержание взвешенного вещества, за счет органической фракции, достигало максимальных значений (46-62 мг/л). До зарегулирования р. Волги, в естественных условиях такой закономерности не наблюдалось. Сток взвешенного вещества за период половодья составил 4,4 млн. т, превышая уровень предыдущего года и величину 2000-2008 гг. (3,3 млн. т).

Содержание органического вещества (ОВ) в течение года также изменялось в широких пределах от 21 до 62 мг/л. Максимальные концентрации (57-62 мг/л) во второй половине лета были обусловлены активизацией процессов новообразования органического вещества. В последние 2 года, на фоне усиления первичных продукционных процессов, содержание ОВ в р. Волге у г. Астрахани в летний период было экстремально высоким (49-51 мг/л), в 2 раза превышая среднемноголетнюю величину (25 мг/л).

Несмотря на уменьшение водности, в 2011 г. за год в северную часть Каспийского моря со стоком Волги поступило 48 тыс. т фосфора, 443 тыс. т – азота, 636 тыс. т – кремния, что определило хорошую обеспеченность фитопланктона биогенными веществами (табл. 3).

**Таблица 3.** Многолетняя динамика стока биогенных веществ (тыс. т) и органического вещества (млн. т) в Северный Каспий за год.

**Table 3.** Long-term dynamics of the runoff of biogenic substances (thousand tons) and organic matter (million tons) in the Northern Caspian within a year.

Периоды, годы	PO <sub>4</sub> тыс. т	Рорг. тыс. т	NH <sub>4</sub> тыс. т	NO <sub>3</sub> тыс. т	Норг. тыс. т	Si тыс. т	ОВ млн. т.	ВВ млн. т	N/P
1990-1999	19,9	14,3	19,6	214	236	584	5,3	7,1	12
2000-2008	17,3	16,0	19,4	138	200	593	5,0	5,3	9
2009	20,7	29,5	27,1	106	328	574	7,0	6,7	7
2010	17,7	31,7	29,1	77	310	606	6,8	6,2	7
2011	17,8	30,2	29,2	87	322	363	6,6	7,7	7

Сток минерального азота оставался на низком уровне, что свидетельствует о возрастании потребления азота и, как следствие, увеличение легко окисляемой органики, что должно благоприятствовать развитию планктона в Северном Каспии и улучшению условий нагула молоди рыб.

Следовательно, для последних лет характерна устойчивая направленность к сохранению высокого содержания в волжской воде минерального фосфора на фоне более слабой положительной тенденции к увеличению минерального азота. Величина отношения N:Р<sub>мин</sub> деформируется в сторону стабильного уменьшения. Это иллюстрирует усиление эвтрофикации, а также, возможно, качественные и количественные изменения в составе речного фитопланктона в условиях формирования более благоприятной обстановки для развития диатомового и зеленого комплекса водорослей. Для соединений минерального азота сохранилась тенденция к снижению процентного содержания нитратов и увеличению долевого содержания аммонийной составляющей. В составе валовых форм фосфора и азота в водотоках дельты в течение всего наблюдаемого периода преобладала их органическая форма.

Изменчивость содержания хлорофилла связана с сезонной сукцессией доминирующих видов в фитопланктоне и определяется целой совокупностью факторов, важнейшим из которых является температура воды. Увеличение концентраций в волжской воде обычно происходит в третьей декаде апреля при прогревании водных масс до 8-12<sup>0</sup>С. Следующий пик возрастания величин

хлорофилла «а» – до 14,0 мкг/л фиксируется во второй половине мая с наступлением интенсивного прогрева водных масс. Наибольшие концентрации фитопигментов отмечаются в летний период, в период активной вегетации фитопланктона (табл. 4).

**Таблица 4.** Многолетняя динамика содержания хлорофилла «а» в р. Волге, мкг/л.

**Table 4.** Long-term dynamics of the content of chlorophyll «a» in the Volga River, µg/l.

Период исследований	Зима	Весна	Лето	Осень
1995-2000	0,3	1,0	5,2	1,8
2001-2008	0,3	2,8	9,3	2,7
2009	0,1	2,6	5,3	2,0
2010	0,1	1,9	5,7	3,2
2011	0,2	4,4	5,9	2,2

Содержание хлорофилла «а» максимально в начале июня и в августе – до 11,0-24,0 мкг/л. От общего количества фитопигментов он составлял – 80%. В этот период массово развиваются сине-зеленые водоросли, которые способствуют «цветению» воды, что свидетельствует об эвтрофировании отдельных участков реки. Осенью, от сентября к ноябрю в качественном составе фитопигментов происходило уменьшение доли хлорофилла «а» – до 40% и возрастание доли хлорофилла «b» и «с» – до 30%, что обусловлено сменой доминирующих видов в фитопланктоне.

Водотоки дельты Волги в летний период сохраняют статус высоко эвтрофированных вод. В последние годы отмечены повышенные концентрации хлорофилла «а», характерные для периодов «цветения» воды, при массовом развитии сине-зеленых водорослей. Высокие значения фитопигментов в 2011 г. на Волго-Каспийском (до 60,7 мкг/л) и Белинском (до 36,2 мкг/л) каналах были зафиксированы уже в мае. Осенью происходит снижение, по сравнению с летними значениями, количественных показателей фитопигментов и изменяется качественный состав фитопигментов. В сентябре в их составе доминирует хлорофилл «а», в октябре возрастает доля хлорофиллов «b» и «с», что связано с развитием зеленого и диатомового фитопланктона.

В многолетнем плане отмечена тенденция возрастания величин фитопигментов в мае. В период половодья, при интенсивном перемешивании вод, содержание биогенных веществ остается на высоком уровне, что способствует активному усилению фотосинтетической деятельности фитопланктона в низовьях р. Волги.

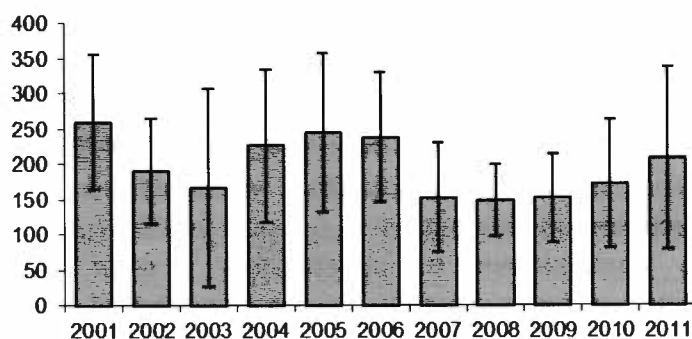
Следует отметить, что в целом для развития фитопигментов были характерны пониженный уровень фотосинтеза в зимний период, повышенная интенсивность продукционных процессов в период половодья и летнюю межень с незначительным снижением осенью количественных показателей хлорофиллов.

Наряду с основными гидрохимическими показателями, экологотоксикологическое состояние водной среды более детально характеризуют данные о содержании загрязняющих веществ.

Многолетние колебания уровня содержания загрязняющих веществ отражают широкий спектр естественных и антропогенных процессов, происходящих не только в самой р. Волге и на ее водосборе, но и далеко за их пределами.

В межгодовой динамике содержания углеводов в дельте реки Волги, где ежегодно формируется в условиях естественного воспроизводства основная часть молоди рыб Волго-Каспийского промыслового бассейна, показатели изменялись от

минимума в 2008 г. (2,9 ПДК) («Нормативы качества воды...», 2011), до максимума в 2001 г. (5,2 ПДК) (рис. 3).



**Рис. 3.** Многолетняя динамика концентраций ЭНУ в дельте Волги, мкг/л.

**Fig. 3.** Long-term dynamics of concentrations of extracted petroleum hydrocarbons in the Volga River delta, µg/l.

Среднемноголетняя (2001-2011 гг.) концентрация была равной 4,0 ПДК и соответствовала уровню 1990-х гг. (3,9 ПДК). Размах концентраций углеводородов в водотоках дельты составил 6,6 ПДК ( $\sigma=94,1$ ). В 2001 и 2005 гг., характеризовавшиеся сравнительно большими объемами волжского стока, были зарегистрированы наиболее высокие показатели (5,2 и 4,9 ПДК соответственно). С 2007 г. по 2010 г. концентрации были ниже многолетней величины, однако в этот период наблюдалось постепенное их нарастание, в результате которого в 2011 г. уровень содержания поллютантов повысился до 4,2 ПДК. Увеличился и размах колебаний значений: от 2008 к 2011 гг. он возрос в 2,5 раза.

В результате изучения пространственной изменчивости было выявлено, что максимальным уровнем среднегодового содержания поллютантов характеризовался самый западный и магистральный судоходный водоток дельты – Волго-Каспийский канал. Его воды отличались не только высоким уровнем содержания ЭНУ (5,0 ПДК), но и самой большой неоднородностью данных по статистическим характеристикам. В створах канала наибольшей степенью загрязнения (3,1-6,3 ПДК), чаще всего характеризовался район в средней зоне дельты у с. Икрыное. В центральной и восточной зонах дельты большая часть наблюдавшихся концентраций (до 84,6%), как правило, варьировала в узком диапазоне – 1,3-3,2 ПДК. Повышение степени загрязнения на Кировском канале (3,6 ПДК) было характерно для верхнего створа у села Яксатово, на Белинском канале – в его приморской части, где в районе 12-ой Огневки в 2011 г. была зарегистрирована максимальная концентрация (5,9 ПДК).

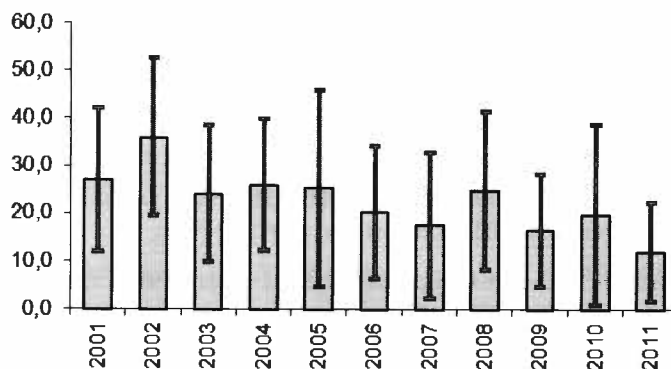
Корреляционный анализ данных по углеводородам с абиотическими факторами среды выявил для района, принятого за вершину дельты, отрицательную зависимость с содержанием кислорода ( $r=-0,58$  при  $p<0,05$ ), т.к. углеводородное загрязнение приводит к ухудшению кислородного режима водоема. Для западных водотоков дельты была выявлена отрицательная связь концентрации ЭНУ с бихроматной окисляемостью, характеризовавшаяся коэффициентом 0,67, свидетельствующая в пользу антропогенной природы происхождения углеводородов. Кроме того, органические токсиканты и фитопигменты хлорофилла взаимокоррелировали, на что указывала прямая связь с концентрацией хлорофилла



«б» ( $r=0,66$ ). Восточная часть дельты характеризовалась теснотой связи не с биогенными веществами, а с другими токсикантами. Так, концентрации углеводородов и свинца положительно коррелировали между собой с коэффициентом 0,56, т.е. повышение значений углеводородов могло привести к увеличению в составе загрязнения ионов этого высокотоксичного металла. С фенолами существовала обратная связь ( $r=-0,53$  при  $p<0,05$ ), поэтому можно предположить, что эти токсиканты являлись продуктами деструкции углеводородов.

В силу своих гидрофобных свойств углеводороды легко сорбируются взвесями и при седиментации попадают в донные отложения (ДО), которые могут как способствовать уменьшению их содержания в воде, так и служить, при определенных условиях, источником повторного загрязнения водных масс.

В многолетнем аспекте в донных осадках водотоков дельты р. Волги, как и в водной среде, наблюдается стойкая тенденция к снижению среднего уровня содержания углеводородов. Средний показатель за период 2001-2011 гг. составил 23,9 мкг/г сухого грунта. В ряду многолетних данных можно выделить два периода – с 2001 по 2005 гг., когда показатели были близки к среднемноголетней величине или превышали ее, и с 2006 по 2011 гг., когда показатели уступали ее уровню (рис. 4).



**Рис. 4.** Многолетняя динамика концентраций ЭНУ в донных осадках дельты Волги, мкг/г сухого грунта.

**Fig. 4.** Long-term dynamics of concentrations of extracted petroleum hydrocarbons in bottom sediments of the Volga River delta, µg/g of dry soil.

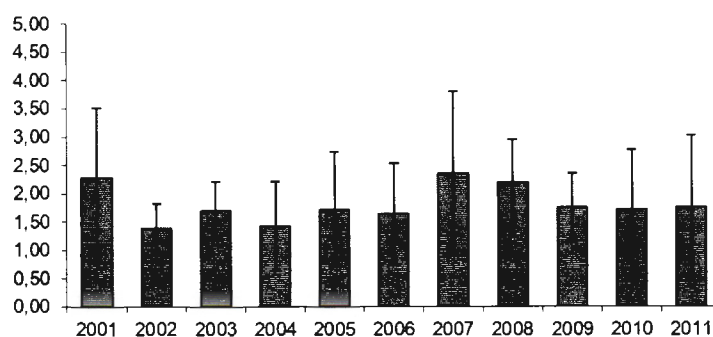
Взаимозависимость между данными в ДО и воде была выражена слабо –  $r=0,39$  при  $p<0,05$ .

Распределение органических соединений, в частности, углеводородов, в донных отложениях, как известно, зависит от степени их дисперсности. В низовьях р. Волги увеличение доли тонкодисперсной фракции в составе грунтов сопровождалось ростом концентраций ЭНУ. В водотоках дельты осадки представлены мелкозернистыми песками и алевритистыми илами, при среднем диаметре частиц 0,25-0,05 мм, характеризующимися сравнительно слабой способностью аккумулировать органические вещества.

Наибольшим уровнем накопления токсикантов в последние 6 лет отличались осадки Кировского канала, наименьшим – Белинского. Максимальным количеством токсикантов характеризовался верхний створ Кировского канала, т.е. район с. Яксатово, где в составе грунтов была значительной доля илистых фракций (46%). Следует отметить, что обнаруженный здесь максимум (75,7 мкг/г) превышал

голландский норматив по нефтепродуктам для илов в 1,5 раза (Качество морских вод..., 2008).

Межгодовая изменчивость содержания одноатомных летучих фенолов, которые наряду с углеводородами, относятся к группе распространенных загрязняющих веществ, в водах основных рукавов дельты р. Волги в основном характеризовалась сравнительно стабильным содержанием поллютантов в воде на уровне 2,4 ПДК, при размахе концентраций 2,0 ПДК ( $\sigma=0,56$ ). Наиболее значимое увеличение показателя в водотоках дельты наблюдалось в 2001 и 2007 гг. В остальные периоды исследований среднегодовые концентрации в основном характеризовались стабильностью и незначительным превышением рыбохозяйственного ПДК (рис. 5).



**Рис. 5.** Содержание фенольных соединений в воде дельты р. Волги, мкг/л.

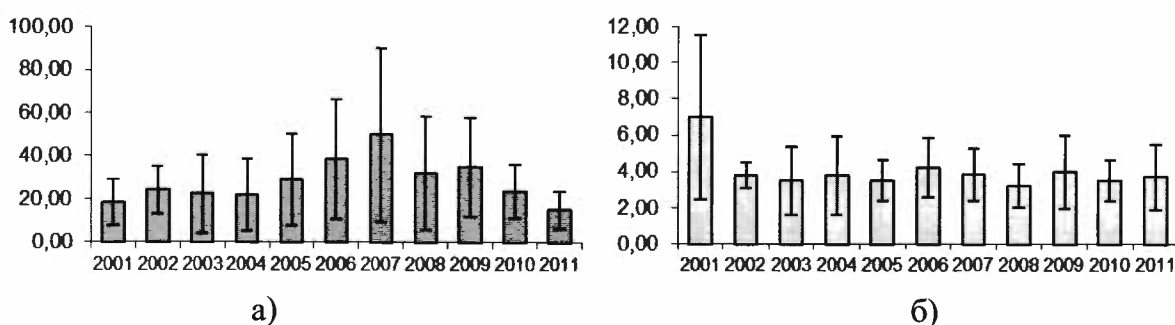
**Fig. 5.** The content of phenol compounds in water of the Volga River delta,  $\mu\text{g/l}$ .

Среди изучаемых водотоков дельты повышенное содержание фенолов было зарегистрировано в приморской зоне западных рукавов (5,0 ПДК), где интенсивно протекают процессы седиментации и развития высшей водной растительности. В центральной и восточной частях высокие концентрации исследуемых соединений были зарегистрированы в верхней зоне дельты у п. Табола (5,3 ПДК) и в истоке рук. Бузан (4,4 ПДК). На остальных участках изучаемой акватории фиксировался невысокий уровень содержания, что, по-видимому, было обусловлено естественными процессами продуцирования фенолов в водной среде водоема.

Среди неорганических загрязнителей водной среды наиболее распространены и опасны для биоты тяжелые металлы (ТМ). При проведении мониторинга в дельте р. Волги из большой группы ТМ (более 40 наименований) были выделены наиболее токсичные и характерные для волжской воды элементы: Hg, Cd, Pb, Cu, Ni, Zn, Mn и Fe.

Концентрации исследуемых металлов изменялись в достаточно широком диапазоне: Zn – 120,0 мкг/л ( $\sigma=21,20$ ); Fe – 93,0 ( $\sigma=14,31$ ) мкг/л; Cu – 13,9 мкг/л ( $\sigma=1,88$ ); Mn – 11,0 мкг/л ( $\sigma=1,38$ ); Pb – 2,3 мкг/л ( $\sigma=0,52$ ); Ni – 2,8 мкг/л ( $\sigma=0,58$ ); Cd – 1,44 мкг/л ( $\sigma=0,13$ ). Как видно из представленных данных, наибольшей вариабельностью значений отличались уровни содержания растворенных форм Zn, Fe и Cu, что, вероятно, обуславливалось специфичностью их уровня содержания в бассейне р. Волги и степенью антропогенной нагрузки на водоем, а также способностью этих металлов к комплексообразованию, осаждению и аккумуляции.

Возрастание среднегодовых концентраций исследуемых элементов происходило в различные годы, что в значительной степени зависело от характера развития природных и антропогенных процессов на территории водосбора. В результате анализа многолетнего ряда наблюдений за содержанием растворенных форм ТМ в основных водотоках дельты р. Волги было выявлено, что наиболее высокий уровень содержания цинка, превышающий среднегодовую величину (2,4 ПДК) в 1,2 и 1,4 раза, наблюдался, соответственно, в 2006 и 2007 гг. Поведение марганца в межгодовом аспекте было аналогично цинку, повышенный уровень содержания которого так же наблюдался в 2006-2007 гг. Максимальная среднегодовая концентрация меди (5,0 ПДК) отмечена в многоводном 2001 году. В остальные годы наблюдений значения варьировали в пределах от 3,1 до 4,1 ПДК, характеризуя их относительную стабильность (рис. 6).



**Рис. 6.** Многолетняя динамика содержания цинка (а) и меди (б) соединений в воде дельты р. Волги, мкг/л.

**Fig. 6.** Long-term dynamics of the content of zinc (a) and copper (b) compounds in water of the Volga River delta, µg/l.

Содержание кадмия в дельтовых водах возрастало от минимальных значений в 2001-2002 гг. до максимальных – в маловодном 2006 г. В последующий период исследований наметилась тенденция к снижению доли кадмия в элементном составе вод. Для свинца наибольший уровень содержания приходился на 2004 г. (0,6 ПДК), наименьший на 2001-2002 гг. (0,25 ПДК), с 2005 г. концентрации изменялись незначительно от 2,3 до 2,9 мкг/л.

В настоящее время содержание растворенных форм ТМ в водных массах основных каналов дельты р. Волги характеризуется увеличением относительно среднемноголетних величин наиболее токсичных элементов, таких как свинец (в 1,3 раза) и ртуть (в 2,7 раза). Учитывая преимущественно техногенный генезис этих металлов, можно расценивать данный факт как усиление антропогенной нагрузки на водоем. В качестве возможного источника данного вида загрязнения могут быть сточные воды промышленных предприятий г. Волгограда, расположенные в береговой зоне. Положительным моментом рассматриваемого периода является уменьшение в составе волжской воды доли всех остальных изучаемых ТМ, концентрации которых не превышали значений как среднемноголетних, так и 2010 г.

Пространственное распределение элементов в каналах дельты р. Волги характеризовалось сравнительной однородностью концентраций с незначительным преобладанием ионов цинка и свинца в водах Волго-Каспийского канала (ВКК), никеля и железа – в Кировском, меди – в Белинском. В каналах западной и центральной частей дельты Волги возрастание уровня загрязнения вод металлами

преобладало в летний период – в верхней и средней зонах, осенью – в приморской. В Белинском банке, расположенном в центральной части, динамика содержания большинства ТМ отличалась разнообразием пространственно-временного распределения. Только изменение концентраций ионов ртути соответствовало общей тенденции, наблюдаемой в 2011 г., при которой существенное увеличение происходило в июле и в сентябре. Такой характер распределения металлов по русловым участкам в большей степени обуславливался влиянием специфических характеристик рассматриваемых водотоков: гидрологических, морфометрических, гидробиологических и др.

Миграционные циклы элементов в экосистеме завершаются в донных отложениях, где они накапливаются и отражают качество и экологическое состояние водных объектов. На содержание ТМ в донных осадках существенно влияют физико-химические и биологические процессы: адсорбция, десорбция, комплексообразование, скорость накопления и химический состав детрита, емкость катионного обмена в твердой фазе, наличие легкообменных катионов на твердой фазе, химический состав поровых вод и высшей водной растительности, планктона и бентоса. Важную роль в трансформации элементов ДО играют органические вещества, способствующие концентрированию их в речных грунтах.

Рассматривая количественные показатели ТМ в донных отложениях водотоков нижней зоны дельты Волги в многолетнем аспекте установили, что наибольшее содержание меди, свинца, кадмия, никеля и железа кумулировалось осадками Кировского банка, цинка и марганца – Белинского. В межгодовой динамике наибольший уровень загрязнения грунтов основной группой металлов (Zn, Cu, Pb, Cd, Ni) отмечался в 2007 г., марганца и железа в 2008 г., когда уровни накопления элементов достигали максимальных значений и создавали опасные условия для вторичного загрязнения вод.

На современном этапе исследований донные отложения Волго-Каспийского канала, как и в многолетнем аспекте, в наименьшей степени накапливали большинство тяжелых металлов, кроме цинка и кадмия. Концентрации этих элементов повысились относительно донных отложений 2010 г. в 1,3 и 1,7 раза соответственно.

Наибольшее количество подвижных форм Pb и Cd накапливалось в русловых отложениях в июне, Cu, Ni, Mn и Fe - в конце летней межени, Zn – в сентябре. Пространственное распределение кумулирующей активности донных осадков, также было неоднородным. В период прохождения волны половодья и после повышенный уровень накопления большинства тяжелых металлов был характерен для донных отложений верхних зон водотоков, в конце летней межени и осенью – для выходных участков. Приуроченность повышенного содержания большинства элементов к приморской зоне объясняется снижением динамических свойств водотоков, в связи с подпорным явлением со стороны моря, и как следствие, седиментацией тяжелых металлов.

При анализе результатов исследований содержания ТМ как в воде, так и донных отложениях была выявлена тесная корреляционная связь между Zn и Cd, а также Mn и Cd (таблица 5).

Содержание меди в донных осадках положительно коррелирует с большинством изучаемых элементов и ЭНУ, что обусловлено слабой динамической

активностью элемента и склонностью к образованию комплексных соединений с органическими компонентами. Между уровнем концентрирования ТМ в грунтах и в воде взаимосвязи не наблюдалось, по причине чрезвычайного разнообразия источников их поступления, и как следствие, вариабельности масштабов распространения.

**Таблица 5.** Коэффициенты корреляции ТМ.

**Table 5.** Coefficients of heavy metal correlation.

№	Объект исследований	Zn-Cd	Mn-Cd
1	Вода	0,89, при $p < 0,05$	0,84 при $p < 0,05$
2	Донные отложения	0,76 при $p < 0,05$	0,72 при $p < 0,05$

Таким образом, сокращение промышленного и сельскохозяйственного производства в последнее время привело к некоторому снижению техногенной нагрузки на экосистему дельты р. Волги. Однако доля загрязняющих веществ техногенного и биогенного происхождения в составе волжского стока остается весьма значительной. С речными водами в Каспийское море ежегодно поступает от 26,6 (2003 г.) до 55,4 (2005 г.) тыс. т углеводов, от 0,25 (2003 г.) до 0,49 тыс. т (2008 г.) фенолов, от 4,0 (2001 г.) до 8,7 (2003 г.) тыс. т цинка; от 0,7 (2006 г.) до 1,1 (2003 г.) тыс. т меди, от 0,3 (2001, 2002 гг.) до 0,8 (2004 г.) тыс. т свинца.

Анализ корреляционных связей межгодовой изменчивости водного стока и выноса исследуемых токсикантов выявил общую направленность положительной зависимости для большинства ТМ, фенольных соединений и углеводов, что, вероятно, было обусловлено общим однонаправленным воздействием комплекса природных и антропогенных факторов. Связь ослабевает от тесной до очень слабой в ряду токсикантов: Ni > фенольные соединения > Cd > Pb > ЭНУ > Cu > Mn > Zn ( $r = 0,76 - 0,39$  при  $p < 0,05$ ). Выявленная взаимосвязь стока фенольных соединений, кадмия, никеля и свинца с водностью реки свидетельствует в пользу их природного генезиса. Очень слабая положительная связь между выносом марганца ( $r = 0,39$  при  $p < 0,05$ ), цинка ( $r = 0,46$  при  $p < 0,05$ ) и волжским стоком, а также наличие тесной связи стока ТМ с их концентрациями (Mn –  $r = 0,81$ , Zn –  $r = 0,80$ , при  $p < 0,05$ ), свидетельствовало о существенной доле антропогенной составляющей в суммарном стоке этих элементов (Полонский, 2008).

Следует отметить, что основная часть волжского стока (около 70%) поступает через межканальное пространство култушной зоны дельты и авандельты, в котором активно протекают процессы самоочищения под воздействием биологического фильтра в виде высшей водной растительности, микроорганизмов, фитопланктона и активной трансформации и седиментации твердого стока (Катунин и др., 2006).

### ВЫВОДЫ

Таким образом, экстремально низкое по объему и продолжительности половодье, которое не соответствовало экологическим требованиям даже в минимальной степени, крайне негативно сказалось на воспроизводстве рыбных запасов и формировании кормовой базы ценных промысловых рыб в дельте р. Волги и Северном Каспии.

Необходимо отметить, что для дельты р. Волги характерна сохраняющаяся тенденция к усилению эвтрофикационных процессов, проявляющихся в стабильно высоких концентрациях минерального фосфора, нитритного и нитратного азотов, органического вещества и рН. В условиях продолжающегося эвтрофирования воды и

высокого содержания органического вещества отмечен рост органического загрязнения (по нефтепродуктам и фенольным соединениям), концентрации остальных токсикантов в основном сохранялись на уровне среднемноголетних величин.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Инструкция по сбору и первичной обработке материалов водных биоресурсов Каспийского бассейна и среды их обитания.* Астрахань: изд-во ФГУП «КаспНИРХ», 2011. 193 с.

*Катунин Д.Н., Винецкая Н.И., Дюдикова Л.К., Зибинская Л.М., Компаниец Ю.А., Хрипунов И.А.* Гидрологический режим и химические основы продуктивности дельты Волги и Северного Каспия. // Тр. ВНИРО, 1977. Т. 127. С. 8-22.

*Катунин Д.Н., Компаниец Ю.И., Иванова Н.В.* Изменение и распределение взвешенных наносов в дельте р. Волги // Гидрология Южных морей (Каспийское море): Межведомственный сборник. Астрахань: изд-во ФГУП «КаспНИРХ», 2007. Вып. 3-4. С.88-93.

*Катунин Д.Н., Рылина Д.Н., Попова О.В., Хорошко В.И., Карыгина Н.В., Эмирова Р.И.* Распределение некоторых поллютантов в водной среде Каспийского моря и уровни их накопления в гидробионтах. Сб. Материалы международной конференции «Современное состояние и пути совершенствование научных исследований в Каспийском бассейне. Астрахань, 2006. С. 55-58.

*Катунин Д.Н., Хрипунов И.А., Алехина Р.П.* Экологизация попусков воды на Нижнюю Волгу. Сб. Рыбохозяйственные исследования на Каспии. Результаты НИР за 2000 г. Астрахань: Изд-во ФГУП «КаспНИРХ», 2001. С. 33-38.

*Качество морских вод по гидрохимическим показателям.* Ежегодник. Обнинск: Изд-во ГОИН, 2008. С. 14-15.

*Нормативы качества воды и водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения.* М.: ВНИРО, 2011. 257 с.

*Полонский В.Ф., Коршенико А.Н., Остроумова Л.П.* Загрязнение дельты реки Волги. // Исследование океанов и морей. 2008. № 211. С. 349-369.

### ECOLOGICAL CONDITIONS OF FISH STOCK DEVELOPMENT IN THE VOLGA-CASPIAN BASIN

© 2012 y. O.N. Rylyina, N.V. Karygina, E.G. Lardygina, O.V. Popova,  
E.A. Kravchenko, N.V. Galushkina, L.V. Degtyareva, E.S. Popova, E.V. Galley  
*Caspian Fisheries Research Institute, Astrakhan*

The paper presents the results of long-term integrated studies of abiotic and biotic environmental factors that affect the development of productional features of waterways in the lower reaches of the Volga River and Caspian Sea. Under conditions of quite short flood time water eutrophication remains, organic pollution (with petroleum products, phenols, pesticides) increases, concentrations of other pollutants remain mostly at a level of average long-term ones.

*Key words:* lower reaches of the Volga River, hydrological regime, flood, hydrochemical regime, runoff of biogenic substances, pollutants.