

Г.Т. Фрумин, А.Н. Гетьман

КВОТИРОВАНИЕ БИОГЕННОЙ НАГРУЗКИ НА ТРАНСГРАНИЧНЫЕ ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ

G.T. Frumin, A.N. Get'man

LIMITATION OF NUTRIENTS LOADING ON TRANSBOUNDARY WATER OBJECTS

Разработан метод квотирования биогенной нагрузки на трансграничные водные объекты. Приведены формулы для расчетов максимально допустимых модулей экспорта биогенных элементов на различные субакватории Балтийского моря. Разработан подход к расчетам модулей фонового стока биогенных элементов с водосборных территорий. Разработаны подходы к квотированию биогенной нагрузки между сопредельными государствами на трансграничные водные объекты.

Ключевые слова: трансграничные водные объекты, водосборный бассейн, биогенные элементы, квотирование.

The method of limitation of nutrients on transboundary water objects is developed. Formulas for calculations of as much as possible admissible modules of export of nutrients on various subwater areas of the Baltic Sea are resulted. The approach to calculations of modules of a background drain of nutrients from river basins is developed. Approaches to limitation of nutrients loading between the adjacent states on transboundary water objects are developed.

Keywords: transboundary water objects, river basins, nutrients, limitation.

К трансграничным относятся любые поверхностные или подземные воды, которые обозначают, пересекают границы между двумя и более государствами или расположены в таких границах. В тех случаях, когда трансграничные воды впадают непосредственно в море, их пределы ограничиваются прямой, пересекающей их устье между точками, расположенными на линии малой воды на их устье. Такое определение трансграничных вод дается в Конвенции ООН по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер (1992 г.). Трансграничные воды рек принадлежат территориям приграничных государств и составляют часть этих территорий.

В мире насчитывается более 260 международных речных и более 270 международных подземных водных бассейнов [1]. По территории России протекает около 70 полноводных и протяженных трансграничных рек. Так, по Вуоксе проходит граница с Финляндией, по Неману – с Литвой, по Днепру – с Белоруссией и Украиной, по Западной Двине – с Белоруссией и Латвией, по Самуру – с Азербайджаном, по Волге, Уралу, Иртышу – с Казахстаном, по Селенге – с Монголией, по Амуру – с КНР, по Туманной – с КНР и КНДР

Многие проблемы распределения водных ресурсов и загрязнения вод, которые раньше носили внутрисоветский характер, теперь приобрели трансграничный

контекст. Конвенция по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер была подписана в г. Хельсинки 17 марта 1992 года. Эта Конвенция подготовлена под эгидой ЕЭК ООН и вступила в силу 6 октября 1996 года. Она играет важную роль в развитии сотрудничества по трансграничным водам во многих частях региона ЕЭК ООН. Со времени подписания Конвенции прошло уже более двадцати лет, однако, есть еще вопросы, которые окончательно не решены путем переговоров и которые нуждаются в дальнейшем развитии.

15 ноября 2007 г. в Кракове (Польша) министрами охраны окружающей среды стран Балтийского моря был согласован план действий для Балтийского моря (ПДБМ), который является долгосрочным стратегическим документом, направленным на сокращение загрязнения морской среды, достигшего в последнее время угрожающего размера, и восстановления благополучного экологического состояния Балтики к 2021 году [2]. Главная проблема в Балтийском море – эвтрофирование. Развитие процесса антропогенного эвтрофирования приводит ко многим неблагоприятным последствиям с точки зрения водопользования и водопотребления (развитие «цветения» и ухудшения качества воды, появление анаэробных зон, нарушение структуры биоценозов и исчезновение многих видов гидробионтов, в том числе ценных промысловых рыб). Кроме того, в период цветения сине-зеленые водоросли производят сильнейшие токсины (алкалоиды, низкомолекулярные пептиды и др.), которые сами не используют, но они, попадая в водную толщу, представляют опасность для живых организмов и человека. Эти токсины могут вызывать цирроз печени, дерматиты у людей, отравление и гибель животных [3].

По мере возрастания численности населения и резкого усиления его хозяйственной деятельности поступление биогенных веществ с коммунальными и промышленными сточными водами, со стоками интенсивно удобряемых сельскохозяйственных угодий и через загрязненную атмосферу возрастало в геометрической прогрессии, время эвтрофирования сократилось до десятилетий, и процесс получил название антропогенной эвтрофикации. Чрезмерное поступление азота и фосфора от наземных источников является основной причиной эвтрофирования Балтийского моря. Приблизительно 75 % азота и, по крайней мере, 95 % фосфора попадают в Балтийское море через реки или через прямые сбросы. Около 25 % азота поступает из атмосферы [4].

В связи с изложенным, цель данного исследования состояла в разработке метода квотирования биогенной нагрузки на трансграничные водные объекты бассейна Балтийского моря. Исследование состояло из трех этапов. На первом этапе были проведены расчеты максимально допустимых модулей стока биогенных элементов на различные субакватории Балтийского моря, соответствующие их водосборным бассейнам (табл. 1). С этой целью максимально допустимые, согласно ПДБМ (План действий по Балтийскому морю), поступления биогенных элементов на данную субакваторию были разделены на площадь соответствующего ей водосборного бассейна.

Максимально допустимые модули стока, приведенные в табл. 1, были использованы для расчетов максимально допустимого экспорта биогенных элементов в Финский залив Балтийского моря со стоком рек (табл. 2).

Таблица 1

Максимально допустимые модули стока биогенных элементов на субакватории Балтийского моря

Субакватория	Площадь водосбора, км ²	Максимально допустимое поступление, тонн·год ⁻¹		Максимально допустимый модуль стока, кг·км ⁻² ·год ⁻¹	
		Фосфора общего $Q(TP)_{\text{МАК}}$	Азота общего $Q(TN)_{\text{МАК}}$	Фосфора общего $M(TP)_{\text{МАК}}$	Азота общего $M(TN)_{\text{МАК}}$
Ботнический залив	259620	2585	51436	9,96	198
Ботническое море	224910	2457	56786	10,9	253
Центральная Балтика	496185	6746	233259	13,6	470
Финский залив	413100	4860	106680	11,8	258
Рижский залив	102040	1430	78403	14,0	768
Датские проливы	27365	1409	30893	51,5	1129
Каттегат	79530	1573	44257	18,8	556

Таблица 2

Максимально допустимый экспорт биогенных элементов в Финский залив со стоком рек

Река	Площадь водосбора, км ²	Максимально допустимый экспорт, тонн·год ⁻¹		Река	Площадь водосбора, км ²	Максимально допустимый экспорт, тонн·год ⁻¹	
		$Q(TP)$	$Q(TN)$			$Q(TP)$	$Q(TN)$
Нева	286553	3381	73931	Селезневка	623	7,4	161
Нарва	56797	670	14654	Серьга	557	6,6	144
Луга	13200	156	3406	Хаболовка	330	3,9	85
Ягала	1570	18,5	405	Стрелка	155	1,8	40
Пирита	799	9,4	206	Лебяжья	101	1,2	26
Гороховка	731	8,6	189	Сытке	93,7	1,1	24
Кейла	682	8,0	176	Чулковка	72	0,8	19
Черная	668	7,9	172	Кикенка	68	0,8	18

На втором этапе исследования был разработан подход к расчетам модулей фонового стока биогенных элементов с водосборных территорий. Модуль стока является универсальной характеристикой, которая, независимо от порядка и водности реки, выступает в качестве меры интенсивности антропогенного воздействия в водосборе. Согласно [5] в качестве периода относительного гидрохимического фона рекомендуется использовать временные периоды до 1970 г., поскольку в последующие годы резко возросло антропогенное воздействие на природные воды. Для рек с более коротким рядом наблюдений допускается использование фоновых данных по реке-аналогу или первому периоду наблюдений. В районах, где антропогенное воздействие отмечено ранее 1970 г., в качестве фонового следует выбрать период до начала такого воздействия.

К сожалению, реализовать вышеуказанные рекомендации не всегда представляется возможным, поскольку в период до 1970 г. определения фосфора валового и азота

общего (в зарубежной литературе фосфор общий – TP и азот общий – TN) не проводились. Более того, для ряда рек – частично контролируемых и неконтролируемых – до настоящего времени отсутствуют данные гидрохимических и/или гидрологических наблюдений.

Одним из важнейших факторов, стимулирующих развитие процесса эвтрофирования водоема, является фосфорная нагрузка с его водосборного бассейна, которая имеет две составляющие – природную и антропогенную. Природная составляющая зависит от первичной продукции наземных экосистем, которая, в свою очередь, контролируется факторами внешней среды – температурой, количеством осадков и испарением [6, 7, 8, 9].

Факторы внешней среды, воздействующие на продукционные процессы в водоемах и на суше, тесно связаны с географической зональностью, которая включает в себя широтную, меридиональную и высотную поясность. Географическую зональность можно рассматривать как фактор, интегрирующий влияние эдафических и климатических условий на продуктивность водных экосистем [10].

На основании фактических данных, нами была предложена эмпирическая зависимость между модулем фонового стока фосфора валового с водосборной территории и широтой местности для интервала широт от 10° с.ш. до 70° с.ш. [11]:

$$M(TP)^{\text{ФОН}} = 221 - 52,3 \cdot \ln \varphi. \quad (1)$$

Используя зависимость (1), были выполнены расчеты фонового стока фосфора валового (TP) для ряда рек бассейна Балтийского моря (табл. 3).

Таблица 3

Модули фонового стока (эмиссия) фосфора валового с водосборов рек бассейна Балтийского моря

Река	$M(TP)^{\text{ФОН}}$, кг·км ⁻² ·год ⁻¹	Река	$M(TP)^{\text{ФОН}}$, кг·км ⁻² ·год ⁻¹
Нева	4,9	Караста	6,5
Луга	6,8	Коваши	6,5
Нарва	7,8	Селезневка	5,7
Желча	7,7	Приветная	6,2
Великая	9,3	Плюсса	7,8

Для оценки модулей фонового стока азота общего с водосборных бассейнов были использованы три различных подхода, поскольку в доступных литературных источниках единая методика для таких расчетов отсутствует.

Согласно [12] о природной составляющей выноса биогенных веществ с Российской части изучаемой территории можно судить по картосхеме, построенной сотрудниками Института озераведения РАН Г.А. Алябиной и И.Н. Сорокиным на основе результатам многолетних стационарных и полевых исследований на водосборах Северо-Запада России [13]. В этой работе представлено районирование природного

выноса TP и TN на водосборе Финского залива в зависимости от ландшафтов в области Балтийского кристаллического щита и Русской равнины. Для выделенных районов определены значения модулей выноса $M(TP)^{\text{ФОН}}$ и $M(TN)^{\text{ФОН}}$. Нами было проведено усреднение величин $M(TP)^{\text{ФОН}}$ и $M(TN)^{\text{ФОН}}$. В этом случае соотношение между модулями фонового стока азота общего и фосфора общего описывается следующей формулой:

$$M(TN)^{\text{ФОН}} = 42,6 \cdot M(TP)^{\text{ФОН}}. \quad (2)$$

Другой вариант поиска количественного соотношения между $M(TN)^{\text{ФОН}}$ и $M(TP)^{\text{ФОН}}$ базировался на данных, приведенных в работе [14]. Используя эти данные, были рассчитаны величины $M(TN)^{\text{ФОН}}/M(TP)^{\text{ФОН}}$. В рассматриваемом варианте соотношение между модулями фонового стока азота общего и фосфора общего описывается следующей формулой:

$$M(TN)^{\text{ФОН}} = 28,7 \cdot M(TP)^{\text{ФОН}}. \quad (3)$$

Согласно [15] олиготрофному статусу водного объекта соответствует соотношение $TN:TP=35$. Олиготрофный водоем содержит незначительное количество биогенных веществ. С другой стороны, олиготрофный трофический статус обусловлен поступлением в водный объект небольших количеств азота общего и фосфора общего, которое можно рассматривать как фоновое поступление. В этом случае можно принять в качестве первого приближения, что соотношение $TN:TP=35$ соответствует соотношению модулей фонового стока с водосборного бассейна, то есть $M(TN)^{\text{ФОН}}/M(TP)^{\text{ФОН}} = 35$. Или

$$M(TN)^{\text{ФОН}} = 35 \cdot M(TP)^{\text{ФОН}}. \quad (4)$$

Таким образом, при рассмотрении трех вариантов соотношения модулей фонового стока азота общего и фосфора общего были получены три различных величины: 28,7 ($N = 10$), 42,6 ($N = 9$) и 35 ($N = 1$), где N – количество значений $M(TN)^{\text{ФОН}}/M(TP)^{\text{ФОН}}$, использованных при расчете среднего соотношения. По этим данным было рассчитано средневзвешенное значение $M(TN)^{\text{ФОН}}/M(TP)^{\text{ФОН}}$:

$$M(TN)^{\text{ФОН}} / M(TP)^{\text{ФОН}} = (42,6 \cdot 9 + 28,7 \cdot 10 + 35 \cdot 1) / (10 + 9 + 1) = 35,3. \quad (5)$$

$$M(TN)^{\text{ФОН}} = 35,3 \cdot M(TP)^{\text{ФОН}}. \quad (6)$$

Формула (6), ориентировочно характеризующая соотношение между модулями фоновых стоков азота общего и фосфора общего с водосборных бассейнов, была использована для последующих расчетов (табл. 4). Эту формулу целесообразно использовать для сугубо ориентировочных расчетов, поскольку она не учитывает региональных особенностей водосборных бассейнов.

Модули фонового стока фосфора общего и азота общего для некоторых рек бассейна Балтийского моря

Река	F , км ²	R , м ³ /с	$M(TP)^{ФОН}$, кг/км ²	$M(TN)^{ФОН}$, кг/км ²
Нева	286553	2500	4,9	173
Нарва	56797	399	7,8	275
Великая	25200	134	9,3	328
Луга	13200	93	6,8	240
Желча	1220	12,6	7,7	272

Примечание. Расчет $M(TN)^{ФОН}$ проведен по формуле (6).

Для расчета удержания химических веществ водосборами и их гидрографической сетью в Институте водной экологии и внутреннего рыбоводства Германии разработана эмпирическая модель, основанная на результатах обобщения натуральных наблюдений на 100 европейских реках с площадями водосборов от 121 до 194000 км² и озерностью 0,2-20,3 % от значений общей площади изучаемых водосборов [16, 17, 18]. Вынос вещества с водосбора и нагрузка на водный объект L , принимающий сток воды и примесей, рассчитывается следующим образом:

$$L = R_t \cdot L_{tot} = (1 - R_r) \cdot L_{tot}, \quad (7)$$

где R_t и R_r – коэффициенты выноса и удержания вещества (безразм.), соответственно.

Авторами модели предложены следующие эмпирические соотношения, связывающие значения упомянутых коэффициентов для общего фосфора, общего и минерального ($N_{мин}$) азота со значениями модуля стока $q[L^3L^{-2}T^{-1}]$ и гидравлической нагрузкой на водные объекты водосбора $HL[LT^{-1}]$:

$$R_t = 1 - R_r = 1 / (1 + a_1 q_1^b), \quad (8)$$

$$R_t = 1 - R_r = 1 / (1 + a_2 HL_2^b), \quad (9)$$

где a_1, b_1, a_2 и b_2 – безразмерные эмпирические параметры.

Значение гидравлической нагрузки HL пропорционально модулю стока q и обратно пропорционально относительной площади водной поверхности W (% от общей площади водосбора) (табл. 5):

$$HL = 3,15q / W, \quad (10)$$

если q – в л·км⁻²·с⁻¹ и HL – в м·год⁻¹.

В соответствии с формулами (9) и (10) увеличение площади водных объектов, выраженное в % от общей площади водосбора, приводит к увеличению удержания

биогенных элементов и соответственно к снижению значений выноса веществ с водосбора. В то же время увеличение стока приводит как к увеличению эмиссии веществ из почв, так и к уменьшению удержания биогенов водными объектами водосбора (в соответствии с (8)-(10)).

Таблица 5

Относительные площади водных поверхностей водосборов некоторых трансграничных рек бассейна Балтийского моря

Река	Сопредельные государства	Водосбор, км ²	W, %
Кемийоки	Россия, Финляндия, Норвегия	51127	5
Нева	Россия, Финляндия	286553	16
Вуокса	Россия, Финляндия	68501	18
Нарва	Россия, Эстония, Латвия	56200	8
Даугава	Россия, Беларусь, Латвия, Литва	69271	3
Неман	Россия, Беларусь, Литва, Польша	97864	3
Преголя	Россия, Польша, Литва	14685	2
Йянисйоки	Россия, Финляндия	3861	8

С использованием уравнения (8) удастся оценить удержание химических веществ водосбором и русловой сетью в зависимости от характеристик стока и размеров водосбора. Если изучаемый водосбор характеризуется высоким значением доли водной поверхности в общей площади водосбора, то для расчетов целесообразно применять соотношение (9).

Значения эмпирических параметров a_1 , b_1 , a_2 и b_2 задаются в соответствии с данными табл. 6 [19].

Таблица 6

Значения эмпирических параметров в формулах (8) и (9)

Элемент	Площадь водосбора, F	a_1	b_1	a_2	b_2
Фосфор общий	Для всех водосборов	26,6	-1,71	13,3	-0,93
	< 1000 км ²	41,4	-1,93	57,6	-1,26
	1000-10000 км ²	21,7	-1,55	9,3	-0,81
	> 10000 км ²	28,9	-1,80	26,9	-1,25
Азот общий	Для всех водосборов	-	-	1,9	-0,49
Азот общий	Для озер	-	-	7,28	-0,49

Антропогенная составляющая поступления биогенных элементов в водных объект $Q(TP)^A$ или $Q(TN)^A$ рассчитывается как разница между максимально допустимым экспортом $Q(TP)$ или $Q(TN)$ и фоновым поступлением $Q(TP)^{ФОН}$ или $Q(TN)^{ФОН}$:

$$Q(TP)^A = Q(TP)^{МАК} - R_i \cdot F \cdot M(TP)^{ФОН} = F \cdot M(TP)^{МАК} - R_i \cdot F \cdot M(TP)^{ФОН}, \quad (11)$$

$$Q(TN)^A = Q(TN)^{МАК} - R_i \cdot F \cdot M(TN)^{ФОН} = F \cdot M(TN)^{МАК} - R_i \cdot F \cdot M(TN)^{ФОН}. \quad (12)$$

Формулы (9) и (10) позволяют рассчитать антропогенную составляющую экспорта биогенных элементов в трансграничные водные объекты. Именно эта составляющая и подлежит квотированию между сопредельными странами.

Третий этап исследования заключался в разработке подходов к квотированию биогенной нагрузки между сопредельными государствами на трансграничные водные объекты. В основу квотирования были положены результаты анализа экспорта биогенных элементов (общего фосфора и общего азота) в Балтийское море со стоком четырнадцати трансграничных рек [20]. В этой работе показано, что наиболее информативными показателями при построении количественных моделей, описывающих зависимость поступления биогенных элементов в Балтийское море со стоком трансграничных рек, являются количество населения на территории водосборного бассейна и площадь пахотных угодий на водосборе.

На основе выявленных закономерностей предлагается два подхода к квотированию антропогенной биогенной нагрузки на трансграничные водные объекты. Согласно первому подходу, распределение антропогенной биогенной нагрузки между сопредельными государствами целесообразно рассчитывать пропорционально долям населения на водосборной территории. Второй подход предполагает проведение расчетов пропорционально долям распаханых земель.

Для расчетов используются следующие формулы:

$$Q(TP)^A = Q(TP)^A \cdot [N_I / (N_I + N_J) + 1 - N_I / (N_I + N_J)], \quad (13)$$

$$Q(TN)^A = Q(TN)^A \cdot [N_I / (N_I + N_J) + 1 - N_I / (N_I + N_J)], \quad (14)$$

$$Q(TP)^A = Q(TP)^A \cdot [ПРЗ_I / (ПРЗ_I + ПРЗ_J) + 1 - ПРЗ_I / (ПРЗ_I + ПРЗ_J)], \quad (15)$$

$$Q(TN)^A = Q(TN)^A \cdot [ПРЗ_I / (ПРЗ_I + ПРЗ_J) + 1 - ПРЗ_I / (ПРЗ_I + ПРЗ_J)], \quad (16)$$

где N_I и N_J – количество населения на водосборе I -й страны J -й страны соответственно; $ПРЗ_I$ и $ПРЗ_J$ – площади распаханых земель на водосборах сопредельных стран.

Для иллюстрации вышеприведенных соотношений были проведены расчеты максимально допустимого экспорта биогенных элементов в р. Нарва между сопредельными странами (Россией и Эстонией) (табл. 7). При этом были использованы следующие значения R_i : $R_i = 0,536$ для фосфора общего и $R_i = 0,464$ для азота общего.

Согласно данным, приведенным в табл. 7, природная (фоновая) нагрузка составляет 35 % для фосфора общего и 50 % для азота общего от величины суммарной нагрузки на р. Нарва. Эти величины близки к тем, которые приведены в работе [12]. В этой работе отмечено, что фоновая компонента нагрузки на Псковско-Чудское озеро составляет 36 % для фосфора и 45 % для азота. Особо отметим, что эти результаты получены двумя разными независимыми методами.

Таблица 7

**Распределение максимально допустимого поступления биогенных элементов в трансграничную
р. Нарва с водосборов России и Эстонии**

Страна	$Q(TP)^{МАК}$, тонн/год	$Q(TP)^{ФОН}$, тонн/год	$Q(TP)^A$, тонн/год	Население	Максимально допустимый экспорт, тонн/год
Россия	670	235	435	540000	255
Эстония				380000	180
	$Q(TN)^{МАК}$, тонн/год	$Q(TN)^{ФОН}$, тонн/год	$Q(TN)^A$, тонн/год		
Россия	14654	7256	7398	540000	4342
Эстония				380000	3056
	$Q(TP)^{МАК}$, тонн/год	$Q(TP)^{ФОН}$, тонн/год	$Q(TP)^A$, тонн/год	Площадь распаханных земель, км ²	Максимально допустимый экспорт, тонн/год
Россия	670	235	435	6688	232
Эстония				5860	203
	$Q(TN)^{МАК}$, тонн/год	$Q(TN)^{ФОН}$, тонн/год	$Q(TN)^A$, тонн/год	Площадь распаханных земель, км ²	
Россия	14654	7256	7398	6688	3943
Эстония				5860	3455
Усредненные величины максимально допустимого экспорта фосфора общего, тонн/год					
Россия	244				
Эстония	191				
Усредненные величины максимально допустимого экспорта азота общего, тонн/год					
Россия	4142				
Эстония	3256				

Исследование выполнено при поддержке Министерства образования и науки РФ по гранту 14.В37.21.0651 «Разработка методов квотирования биогенных нагрузок и снижения рисков химического и биологического загрязнения трансграничных водных объектов на основе комплексного анализа данных гидрометеорологического мониторинга».

Литература

1. Рысбеков Ю.Х. Трансграничное сотрудничество на международных реках: проблемы, опыт, уроки, прогнозы экспертов // Под ред. В.А. Духовного. – Ташкент: НИЦ МКВК, 2009. – 203 с.
2. HELCOM Baltic Sea Action Plan // HELCOM Ministerial Meeting. Krakow, Poland, 15 November 2007. – 101 p.
3. Дмитриев В.В., Фрумин Г.Т. Экологическое нормирование и устойчивость природных систем. Учебное пособие. – СПб.: Наука, 2004. – 294 с.

4. *Морозова И.А., Шмидова Л.Б., Талалаев С.М.* Трансграничное загрязнение Балтийского моря. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2000. – 52 с.
5. РД 52.24.622-2001. Руководящий документ. Методические указания. Проведение расчетов фоновых концентраций химических веществ в воде водотоков. – М.: Гидрометеиздат, 2001. – 77 с.
6. *Исаченко А. Г.* Основные вопросы физической географии. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1953. – 391 с.
7. *Лит Х.* Моделирование первичной продуктивности Земного шара // Экология, 1974, № 2, с. 13-23.
8. *Rosenzweig M.L.* Net primary production of terrestrial communities, prediction from climatological data // *Amer. Nat.*, 1968, Vol. 102, p. 67-74.
9. *Schuur A.G.* Productivity and global climate revisited: the sensitivity of tropical forest growth to precipitation // *Ecology*, 2003, Vol. 84, № 5, p. 1165-1170.
10. *Бульон В.В.* Эвтрофирование и деэвтрофирование озер как реакция на изменение фосфорной нагрузки с водосборной площади // Теория и практика восстановления внутренних водоемов / Под ред. Румянцева В.А., Кондратьева С.А. – СПб.: Лема, 2007, с. 44-54.
11. *Степанова Е.В., Фрумин Г.Т.* Методы оценки выноса фоновой биогенной нагрузки с водами рек бассейна Балтийского моря // Устойчивое развитие и геоэкологические проблемы Балтийского региона: материалы Международной научно-практической конференции. НовГУ им. Ярослава Мудрого, 23-25 октября 2009 г. – Великий Новгород, 2009, с. 357-361.
12. *Кондратьев С.А., Голосов С.Д., Зверев И.С., Рябченко В.А., Дворников А.Ю.* Моделирование абиотических процессов в системе водосбор – водоем (на примере Чудско-Псковского озера). – СПб.: Нестор-История, 2010. – 104 с.
13. *Кондратьев С.А., Алябина Г.А., Сорокин И.Н.* Вынос биогенных веществ с водосбора Ладожского озера и Финского залива. – В кн.: «Ладожскому озеру – надежную защиту». Под ред. Цветкова В.Ю. – СПб.: Лемма, 2009, с. 63-72.
14. *Хрисанов Н.И., Осипов Г.К.* Управление эвтрофированием водоемов. – СПб.: Гидрометеиздат, 1993. – 36 с.
15. *Nürnberg G.K.* Trophic state of clear and colored soft- and hardwater lakes with special consideration of nutrients, anoxia, phytoplankton and fish // *J. Lake and Reservoir Management*, 1996, 12, p. 432-447.
16. *Behrendt H.* Inventories of point and diffuse sources and estimated nutrient loads – A comparison for different river basins in Central Europe. *Wat. Sci. Technol.*, 1996, 33: 99-107.
17. *Venohl M., Donohue I., Fogelberg S., Arheimer D., Irvine K., Behrendt H.* Nitrogen retention in a river system and effects of river morphology and lakes // *Water Sciences & Technology*, 2005, v. 51(3-4): 19-29.
18. *Behrendt H., Opitz D.* Retention of nutrients in river systems: dependence on specific runoff and hydraulic load // *Hydrobiologia*, 1999, № 410, p. 111-122.
19. *Behrendt H., Dannowski R.* Nutrients and heavy metals in the Odra River system. – Weissensee Verlag Publ., Germany, 2007. – 337 p.
20. *Германова А.В., Фрумин Г.Т.* Поступление биогенных элементов в Балтийское море со стоком трансграничных рек // Ученые записки РГГМУ, 2012, № 24, с. 100-106.