

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» / Russian journal of resources, conservation and recycling <https://resources.today>

2017, №4, Том 4 / 2017, N4, Vol 4 <https://resources.today/issues/vol4-no4.html>

URL статьи: <https://resources.today/PDF/04RRO417.pdf>

DOI: 10.15862/04RRO417 (<http://dx.doi.org/10.15862/04RRO417>)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Жидкова А.Ю., Гусакова Н.В. Оценка внутренней биогенной нагрузки на воды Таганрогского залива Азовского моря с позиции эвтрофирования // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы». 2017 №4. <https://resources.today/PDF/04RRO417.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ. DOI: 10.15862/04RRO417

For citation:

Zhidkova A.Y., Gusakova N.V. (2017). Assessment of the internal nutrient load on the waters of the Gulf of Taganrog of the Sea of Azov from the position of the eutrophication. *Russian journal of resources, conservation and recycling*, [online] 4(4). Available at: <https://resources.today/PDF/04RRO417.pdf> (in Russian). DOI: 10.15862/04RRO417

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 16-35-00420

УДК 504.064.2.001.18

Жидкова Елена Юрьевна

ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»
Политехнический Институт (филиал), Россия, Таганрог
Ассистент
E-mail: soleils@bk.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=767159

Гусакова Наталья Владимировна

ФГБОУ ВО «Южный федеральный университет», Россия, Ростов-на-Дону¹
Кандидат педагогических наук, доцент
E-mail: gusakova@sfedu.ru

РИНЦ: https://elibrary.ru/author_profile.asp?id=186787

Оценка внутренней биогенной нагрузки на воды Таганрогского залива Азовского моря с позиции эвтрофирования

Аннотация. В статье проведена оценка внутренней биогенной нагрузки, а именно азота и фосфора, на воды акватории Таганрогского залива Азовского моря с позиции эвтрофирования. Авторами представлен подробный расчет внутренних фосфорной и азотной нагрузок, исходя из представлений о механизмах формирования величины потока веществ из донных отложений как о концентрационной диффузии и конвективном переносе.

Повышение трофности вод Таганрогского залива Азовского моря приводит к увеличению поступления на его дно органического вещества. Это вызывает интенсификацию процессов биохимического окисления в донных отложениях, происходит изменение окислительно-восстановительных условий, увеличивается содержание подвижных форм азота и фосфора, а именно происходит усиление их потока из донных отложений в воды акватории. Таким образом, трофический уровень водоема – один из основных факторов, определяющий внутреннюю нагрузку водоемов биогенными веществами.

¹ 347928, Россия, Ростовская обл., Таганрог, ул. Чехова, 2

Авторами в качестве объекта исследования выбран Таганрогский залив Азовского моря, как водный объект, чьи особенности являются: мелководность, хорошая прогреваемость, слабая соленость, отсутствием сильного течения, преобладание сгонно-нагонных течений. Как следствие, акватория подвергается активному эвтрофированию, а оценка внутренней биогенной нагрузки проводится авторами для более глубокого понимания процессов эвтрофирования вод.

Ключевые слова: эвтрофирование; внутренняя нагрузка; азот; фосфор; Таганрогский залив; донные отложения; биогенные вещества

Введение

Под эвтрофированием природных водоемов понимают процесс роста общей продуктивности экосистемы водоема, включающей водные массы, донные отложения, населяющие их организмы и отношения между ними. Процесс эвтрофирования ведет к увеличению общего содержания органического вещества в воде водоема.

Степень эвтрофирования водоема зависит от величины его внешней и внутренней биогенных нагрузок (фосфора и азота) и может быть замедлена путем их снижения. Пути снижения внешней биогенной нагрузки на Таганрогский залив Азовского моря обсуждались нами ранее [2-5]. В данной работе мы рассматриваем внутреннюю биогенную нагрузку на данный водный объект и определяем ее как поток биогенов со дна залива с последующим включением их в биотический круговорот; определяется внутренняя нагрузка количеством фосфора (HPO_4^{2-}) и азота (NH_4^+ , NO_2^- , NO_3^-), аккумулированных донными отложениями, и скоростью их десорбции из донных отложений в воду.

Характерной особенностью Азовского моря, обусловленной природно-климатическими факторами, является высокая вариабельность элементов водного баланса и компонентов химического стока, что предопределяет значительную изменчивость баланса биогенных элементов и заставляет искать новые методические подходы к его оценке, анализу и формам представления [13]. Многие исследователи [3, 11, 13] и др. указывают, что концентрация биогенных элементов в водах Азовского моря в значительной степени зависит от короткопериодных погодных явлений, когда нарушается структура внутренних химических и биологических процессов в водоеме. Эти явления затрагивают всю толщу вод, море “живет” от шторма до шторма. Показано, что в позднеосенний период концентрации аммония и нитрит-ионов могут значительно изменяться в течение короткого периода времени (всего несколько суток).

В ряде современных работ рассматриваются вопросы антропогенного эвтрофирования, в том числе Азовского моря, например, работы [10, 11] посвящены разработке методов решения модельной задачи эвтрофикации вод мелководного водоема, учитывающей движение водного потока, микротурбулентную диффузию, гравитационное оседание, пространственно-неравномерное распределение температуры и солености, а также загрязняющих биогенных веществ, кислорода, фито- и зоопланктона и др. Такое количество входных данных модели эвтрофирования Азовского моря авторов Сухинова А.И. и др. отличается сложностью, необходимостью использования огромного массива данных и супервычислительной системы, что делает его весьма дорогостоящим и накладывает определенные ограничения на использование метода в практике экологов при проведении мониторинга водного объекта.

В водоемах практически невозможно определить происхождение фосфора или азота в связи с разными источниками их поступления. С одной стороны, это поступление биогенов из-за пределов водосборов (площадь водосбора, атмосферные осадки, грунтовые воды и т. д.), с другой стороны – за счет внутренних возможностей водоема: фито- и зоопланктонные организмы, разлагающиеся в толще воды, продукты экскреции планктонных организмов,

донные отложения, из которых биогены поступают в фотическую зону, высвобождение водорослями и бактериями растворенных органических соединений, которые расщепляются с образованием растворенных биогенов. Кроме того, идет выделение биогенов с экскрементами планктонных, бентосных, беспозвоночных и рыб. Все эти факторы составляют внутреннюю нагрузку на водоем. Внутренняя биогенная нагрузка указывает на интенсивность круговорота биогенов, поскольку баланс веществ отражает перераспределение отдельных химических элементов в процессе геохимической и биогеохимической миграции. Управление этими процессами позволит управлять экосистемами водоемов.

Таким образом, целью данного исследования является оценка величины внутренних биогенных нагрузок на экосистему Таганрогского залива Азовского моря с позиции эвтрофирования вод, а именно фосфорной и азотной нагрузок.

Методы

Фосфор (минеральный) присутствует в воде главным образом в виде фосфатов и гидрофосфатов (PO_4^{3-} , $HP_0_4^{2-}$). Он входит в состав любого органического вещества, но в воде его содержание очень небольшое и в чистых водоемах исчисляется тысячными долями миллиграмма на литр.

В ходе сезонных изменений фосфаты, как и нитраты, летом почти исчезают в приповерхностной зоне акватории. При отмирании организмов часть фосфатов поступает в воду, а также оседает в верхнем слое донных отложений. Благоприятные условия скопления фосфатов возникают в анаэробных условиях, свойственных придонным слоям воды мелкого, хорошо прогреваемого Азовского моря, в том числе и Таганрогского залива, при отсутствии ветрового перемешивания. Обратное в воду из донных отложений фосфор возвращается вместе с железом при изменении редокс-условий и снова поступает в биотический круговорот. Повышенное количество соединений фосфора в воде и осадках служит свидетельством накопления органического вещества, поэтому низкий показатель фосфора в водоеме принято считать индикатором чистой воды.

Рост потока фосфора со дна водоема (увеличение продуктивности экосистемы) указывает на рост трофности экосистемы. По М.В. Мартыновой [7], при продукции фитопланктона $200 \text{ г/см}^2 \cdot \text{год}$ внутренняя фосфорная нагрузка (поток фосфора со дна водного объекта) резко возрастает и становится сравнимой с внешней фосфорной нагрузкой на акваторию. В результате ускоряется эвтрофирование водоема. Наиболее подвижной формой фосфора в твердой фазе донных отложений считаются его сорбированные соединения. Полагают, что главная причина увеличения внутренней фосфорной нагрузки в эвтрофирующемся водном объекте – увеличение площади донных отложений с анаэробными условиями. Формирующиеся зоны с дефицитом кислорода в придонном слое ускоряют высвобождение фосфатов, сорбированных в аэробных условиях соединениями железа. В Азовском море такие зоны описаны Александровой З.В., Матишовым Г.Г. и соавторами [1, 8]. Например, в 2013 году исследовалось распределение по акватории, а также в толще воды содержание растворенного кислорода, рН, биогенных элементов (азота, фосфора, кремнекислоты). Отмечено развитие мощных заморных явлений в акватории моря как следствие плотностной стратификации водной толщи, формирование восстановительной обстановки в поверхностном слое донных отложений, что способствовало обогащению водной толщи биогенными элементами.

Фосфаты хорошо сорбируются гидроксидами алюминия, марганца и глинистыми материалами, но железо – основной сорбент фосфатов. Даже в тех донных отложениях, где часть фосфатов связана с $Al(OH)_3$, другая часть их связана с $Fe(OH)_3$, а значит, существует зависимость величины потока фосфатов от редокс-условий.

Деструкция органического вещества также играет значительную роль в формировании потока фосфора со дна. Чем выше показатель трофности водоема, тем мощнее поток фосфора при прочих равных. Связь между внутренней нагрузкой фосфора и содержанием органического вещества в донных отложениях линейна и зависит от степени эвтрофирования водоема (величины показателя трофности) [7].

Поступающие в водоем в твердой фазе соединения азота и фосфора частично захораниваются в донных отложениях, частично возвращаются в воду. Различие в накопительной способности грунтов по отношению к азоту и фосфору определяется крупностью частиц дна и тем, что значительная часть фосфора, поступающего на дно, связана с минеральными частицами, которые достигают дна, практически не разрушаясь; азот же осаждается почти исключительно только с органическим веществом, большая часть которого минерализуется в воде. Поэтому азот активнее удаляется из донных отложений: на 45-70 % от аккумулированного на дне, тогда как всего фосфор на 5-25 %.

По крупности частиц дна Азовского моря выделяются следующие типы донных отложений: пелитовые (глинистые) и мелкоалевритовые илы; крупные алевриты; мелкозернистые пески; ракуша. В Таганрогском заливе преобладают пелитовые илы, занимающие всю восточную и центральную части залива в интервале глубин 4.5-6.5 м. Подводный склон залива в интервале глубин 2.5-4.5 м выполнен крупными алевритами и мелкоалевритовыми илами. По периметру залива от уреза до глубин 1.5-2.5 м отлагаются мелкозернистые пески.

Повышение трофности водоема приводит к увеличению поступления на его дно органического вещества. Вследствие этого интенсифицируются процессы биохимического окисления в донных отложениях, изменяются окислительно-восстановительные условия, увеличивается содержание подвижных форм азота и фосфора, а именно происходит усиление их поток со дна в воду. В эвтрофных водоемах этот поток может стать источником вторичного поступления биогенных веществ. Таким образом, трофический уровень водоема – один из основных факторов, определяющий внутреннюю нагрузку водоемов биогенными веществами.

Результаты

Проведем оценку величины потока биогенов со дна Таганрогского залива Азовского моря в воду, исходя из представлений о его механизмах как о концентрационной диффузии и конвективном переносе.

Для расчета потоков азота из донных отложений в воду Таганрогского залива Азовского моря предлагаются два методологических приема. Первый из них предполагает использование уравнения Фика, второй разработан Неверовой-Дзиопак Е.В. [9], построившей математическую зависимость величины потока азота из донных отложений в воду от весового отношения концентрации органического углерода к концентрации общего азота C/N. Чем ниже отношение, тем больший процент в продуктах распада органических веществ составляет аммиачный азот NH_4^+ [6], т. е. величина потока азота из донных отложений в воду возрастает с уменьшением отношения C/N. Экспериментальные данные были аппроксимированы Неверовой-Дзиопак Е.В. линейным уравнением:

$$J_N = 122,5 - 7,82 \cdot x,$$

где: J_N – поток азота из донных отложений, мг $\text{N}/\text{м}^2 \cdot \text{сут.}$; x – отношение C/N.

Диффузионное перемещение растворенных веществ в донных отложениях подчиняется первому закону Фика:

$$J = \chi C \cdot D,$$

где: J – величина диффузионного потока, $\text{мг}\cdot\text{м}^2/\text{сут.}$; ∇C – градиент концентрации вещества в поровом растворе донных отложений и придонной воде; D – коэффициент диффузии, $\text{м}^2/\text{сут.}$

Концентрации азота и фосфора в поровом растворе донных отложений определяются скоростью минерализации (то есть аммонификации и фосфатификации) органических веществ в донные отложения. Когда концентрация соединения в природной воде на 1-2 и более порядков ниже, чем в поровом растворе, градиент концентрации ∇C может приниматься равным по величине концентрации вещества в поровом растворе.

Коэффициент диффузии зависит от диаметра и длины пор, температуры, заряда и массы иона и др. Для диффузии NH_4^+ и HPO_4^{2-} в пресноводных илах приводятся следующие данные по его величине (при $T = 24^\circ\text{C}$): $2,4 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$ и $0,93 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$ соответственно [6].

Принимая во внимание среднеголетние значения содержания углерода, азота и фосфора в донных отложениях Таганрогского залива Азовского моря, рассчитаем внутреннюю нагрузку биогенными веществами на исследуемую акваторию.

Среднеголетние концентрации углерода и азота в воде Таганрогского залива: Сорг. = 0,348 мг/л; Нобщ. ДО = 0,062 мг/л.

$$\text{Площадь акватории } S_{\text{ТЗ}} = 5300 \text{ км}^2 = 5,3 \cdot 10^9 \text{ м}^2$$

$$\text{Тогда } J_{\text{N}} = 75,58 \text{ мг N/м}^2\cdot\text{сут.}$$

Рассчитаем массу донных отложений Таганрогского залива, в которой активно протекают процессы аммонификации, если известно, что с максимальной скоростью процесс протекает в верхнем активном слое донных отложений толщиной 2 см. Средний объемный вес донных отложений составляет приблизительно $1,5 \text{ т/м}^3$. Тогда масса активного слоя донных отложений $M_{\text{а}}$ в исследуемой акватории составит:

$$M_{\text{а}} = 159 \cdot 10^6 \text{ т.}$$

При средней влажности донных отложений 38 %, масса воздушно-сухого вещества в донных отложениях будет равна (масса активного слоя донных отложений Таганрогского залива):

$$M_{\text{с}} = 98,6 \cdot 10^6 \text{ т.}$$

Далее рассчитывается масса общего азота в активном слое донных отложений Таганрогского залива Азовского моря:

$M_{\text{N}} = 6,11 \cdot 10^6 \text{ т}$, при концентрации азота в верхнем слое исследуемых донных отложений 0,062 г/г.

При расчете поступления азота по уравнению Фика принимаем, что масса азота в 2-х сантиметровом слое донных отложений – $6,11 \cdot 10^6 \text{ т}$; процесс аммонификации описывается экспоненциальной зависимостью с константой, равной $0,03 \text{ сут}^{-1}$. Тогда поступление NH_4^+ за сутки:

$$M_{\text{амм}} = 183 \text{ тыс. т/сут.},$$

Концентрация азота в поровом растворе составила: 1700 мг/л, тогда величина потока из донных отложений в воду составит:

$$J_{\text{N}} = 35 \text{ мг N/м}^2\cdot\text{сут.}, \text{ при коэффициенте диффузии } 2,4 \cdot 10^{-6}.$$

Таким образом, при средней величине $1700 \text{ мг N/м}^2\cdot\text{сут.}$ внутренняя нагрузка азотом для Таганрогского залива составит: 67,7 тыс. т/год.

Что касается влияния вторичного поступления азота на процессы эвтрофирования в Таганрогском заливе Азовского моря, суточный прирост концентрации азота в воде:

$$\nabla N = 0,7 \text{ мг/л, при объеме акватории } 25 \cdot 10^9 \text{ л.}$$

Фосфор донных отложений. Накопление фосфора в донных отложениях происходит как в органической, так и в минеральной формах, причем от 40 до 80 % попадающего в водоем органического фосфора минерализуется.

Растворенный минеральный фосфор присутствует в виде ортофосфатов, концентрации которых ограничиваются растворимостью и зависят от окислительно-восстановительных условий, pH и солености воды. В воде растворенные фосфаты образуют комплексы с железом, алюминием и кальцием. В аэробных условиях скорость удаления фосфатов из илов в воду в 5-10 раз ниже, чем в анаэробных.

В акватории Азовского моря из года в год фиксируется большая (около 1000 км³) зона анаэробного заражения, при штилях или близких к ним ветровых ситуациях, характеризующаяся почти полным отсутствием кислорода в придонном слое. Несколько таких зон обнаружены и в водах Таганрогского залива [12]; однако время их существования исчисляется днями вследствие мелководности и хорошей перемешиваемости вод залива.

Величины сорбции и десорбции фосфора в аэробных и анаэробных зонах Таганрогского залива Азовского моря должны заметно отличаться вследствие различий окислительно-восстановительного потенциала в придонных слоях воды, ее pH и солености. В аэробных зонах величина потока фосфора из донных отложений в воду будет определяться, главным образом, соотношением скорости минерализации органического фосфора и скорости хемосорбции минерального фосфора. При этом скорость хемосорбции соизмерима или даже выше скорости минерализации.

В анаэробных зонах величина потока фосфора, в основном, будет определяться как скоростью десорбции минерального фосфора (тем больше, чем больше его относительное содержание в донных отложениях), так и скоростью минерализации органического фосфора. При этом $V_{\text{десорб}} \geq V_{\text{сорб}}$.

Для пресноводных илов в литературе приводятся следующие значения коэффициента диффузии гидрофосфатов: $0,31 - 0,93 * 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$ [6].

Рассчитаем поток фосфора из донных отложений вод Таганрогского залива при максимальных значениях коэффициента диффузии.

Известно, что при содержании в природной воде растворенного кислорода в концентрациях более 8 мг/л верхние 5 мм илистых отложений оказываются окисленными. Железо и марганец присутствуют в них преимущественно в форме гидроксидов. Минеральный фосфор либо сорбируется на гидроксидах, либо образует с ними нерастворимые комплексы. Поэтому поступление фосфатов из отложений в воду в аэробных условиях сильно уменьшается. Донные отложения становятся «ловушкой» для фосфора. При аэробном обмене основную массу фосфатов, удаляемых из донных отложений, составляет поток, образующийся вследствие минерализации органического вещества.

Расчет потока фосфора из донных отложений вод Таганрогского залива сделан на основе следующих допущений: процессы хемосорбции минерализованного фосфора не учитываются; источником поступления фосфатов является только органический фосфор; процесс фосфатофикации описывается экспоненциальной зависимостью; константа скорости фосфатофикации принята равной $0,018 \text{ сут.}^{-1}$ [9]; объем порового раствора приравнен к объему активного слоя отложений, по толщине равным 2 см, как для азота – $10,6 * 10^6 \text{ м}^3$; градиент концентраций фосфатов равен их концентрации в поровом растворе; коэффициент диффузии принят равным $0,93 * 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$.

Тогда масса органического фосфора в донных отложениях Таганрогского залива составит:

$M_{\text{орг}} = 344,5 \text{ тыс. т}$, при среднемноголетней концентрации фосфора в донных отложениях $0,065 * 10^{-5} \text{ т/т}$.

Максимальная величина поступления минерализованного фосфора из отложений в воду в первые сутки составила 337,6 тонн.

Концентрация фосфора в поровом растворе рассчитывается по аналогии с концентрацией азота и составила 3180 мг/л.

При принятом коэффициенте диффузии, равном $0,93 \cdot 10^{-6}$ см²/с, величина диффузного потока фосфора в воды Таганрогского залива будет равна:

$$J_{PM} = 25,5 \text{ мг Р/м}^2 \cdot \text{сут.}$$

Таким образом, внутренняя нагрузка фосфором для вод Таганрогского залива составит:

$$J_p = 4,93 \text{ тыс. т/год.}$$

Максимальный суточный прирост минерального фосфора в воде исследуемой акватории равен $0,54 \cdot 10^{-3}$ мг/л.

Обсуждение

Расчет поступления азота и фосфора сделан с запасом; фактически величина потока фосфора из отложений в водах Таганрогского залива меньше.

Аналогичный расчет для анаэробных зон в акватории мы не приводим из-за малого количества времени существования таких зон в мелком и хорошо перемешиваемом вследствие ветровой деятельности Таганрогском заливе, однако общие подходы к расчетам представляются следующими.

Известно, что, когда величина окислительно-восстановительного потенциала придонной воды снижается до 0,24 В, из донных отложений начинается активная диффузия железа, марганца и фосфора вследствие восстановления гидроксидов и разрушения комплексных соединений. В этих условиях отложения могут быть заметным источником вторичного поступления фосфатов в воду. Кроме того, растворимость фосфатов возрастает при увеличении солености воды. При большом содержании органических веществ в илах в этих условиях существенную долю может составлять также поток фосфора, образованного при минерализации органических веществ. Поэтому в расчетах потока фосфора из донных отложений в анаэробных зонах, где наблюдается дефицит O₂ в придонных слоях воды, следует учитывать и органический, и минеральный фосфор.

При площади водного объекта в 5300 км², среднемноголетних концентрациях углерода и азота 0,348 мг/л и 0,062 мг/л соответственно:

- величина диффузного потока азота из донных отложений составила 35 мг N/м²·сут.;
- величина внутренней азотной нагрузки составила 67,7 тыс. т/год;
- величина диффузного потока фосфора из донных отложений составила 25,5 мг Р/м²·сут.;
- величина внутренней фосфорной нагрузки составила 4,93 тыс. т/год.

Таким образом, несмотря на то, что расчет поступления азота и фосфора в акваторию Таганрогского залива сделан с запасом, величина внутренней азотной и фосфорной нагрузки на водный объект представляется достаточно высокой и поэтому должна быть учтена при расчетах (может оказывать влияние на) степень эвтрофирования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Александрова З.В., Баскакова Т.Е., Картамышева Т.Б., Шевцова Е.А., Сяндюков Ш.З. Характеристика гидрохимических показателей юго-восточной части Азовского моря [Текст] / З.В. Александрова, Т.Е. Баскакова, Т.Б. Картамышева,

- Е.А. Шевцова, Ш.З. Сяндюков; Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2013. – № 12. – С. 19-25.
2. Гусева А.Ю., Гусакова Н.В. Определение внешней нагрузки биогенов на Таганрогский залив Азовского моря [Текст] / А.Ю. Гусева, Н.В. Гусакова; Безопасность жизнедеятельности. – 2014. – № 1. – С. 36-41.
 3. Гусева А.Ю., Гусакова Н.В., Петров В.В. Экспериментальные исследования эвтрофирования водоема в системе экологической безопасности региона [Текст] / А.Ю. Гусева, Н.В. Гусакова, В.В. Петров; Известия ЮФУ. Технические науки. – 2014. – № 9 (158). – С. 238-246.
 4. Гусева А.Ю., Гусакова Н.В. Расчет экологически допустимых концентраций биогенов в Таганрогском заливе Азовского моря на основе разработанной модели эвтрофирования [Текст] / А.Ю. Гусева, Н.В. Гусакова; Известия ЮФУ. Технические науки. – 2013. – № 9 (146). – С. 240-245.
 5. Жидкова А.Ю., Гусакова Н.В., Петров В.В. Выявление лимитирующего эвтрофирования элемента в водной экосистеме [Электронный ресурс] / А.Ю. Жидкова, Н.В. Гусакова, В.В. Петров; Auditorium. – 2015. – № 4 (08). – С. 70-79. Режим доступа: <http://auditorium.kursksu.ru/pdf/008-010.pdf>.
 6. Кузнецов С.И. Микрофлора озер и ее геохимическая деятельность. [Текст] / С.И. Кузнецов; Л.: – Наука. – 1970. – 318 с.
 7. Мартынова М.В. Влияние химического состава донных отложений на внутреннюю фосфорную нагрузку [Текст] / М.В. Мартынова; Водные ресурсы. – 2008. – Т. 35. – № 3. – С. 358-363.
 8. Матишов Г.Г., Степаньян О.В., Григоренко К.С., Харьковский В.М., Поважный В.В., Соьер В.Г. Особенности гидролого-гидрохимического режима Азовского и Черного морей в 2013 г. [Текст] / Г.Г. Матишов, О.В. Степаньян, К.С. Григоренко, В.М. Харьковский, В.В. Поважный, В.Г. Соьер; Вестник Южного научного центра. – 2015. – Т. 11. – № 2. – С. 36-44.
 9. Неверова-Дзиопак Е.В. Теоретическое, методологическое и инженерное обеспечение охраны поверхностных вод от антропогенного эвтрофирования: дис. доктора техн. наук [Текст] / Е.В. Неверова-Дзиопак. – СПб. – 2003. – 345 с.
 10. Сухинов А.И., Никитина А.В., Чистяков А.Е., Семенов И.С., Семенякина А.А., Хачунц Д.С. Математическое моделирование процессов эвтрофикации в мелководных водоемах на многопроцессорной вычислительной системе [Текст] / А.И. Сухинов, А.В. Никитина, А.Е. Чистяков, И.С. Семенов, А.А. Семенякина, Д.С. Хачунц; в сборнике: Параллельные вычислительные технологии (ПаВТ 2016) труды международной научной конференции. – 2016. – С. 320-333.
 11. Сухинов А.И., Никитина А.В., Хачунц Д.С., Чистяков А.Е. Математическое моделирование пространственно-неоднородных гидробиологических процессов в Азовском море [Текст] / А.И. Сухинов, А.В. Никитина, Д.С. Хачунц, А.Е. Чистяков; монография. – Таганрог. – 2016. – 172 с.
 12. Сухинов А.И. Прецизионные модели гидродинамики и опыт их применения в предсказании и реконструкции чрезвычайных ситуаций в Азовском море [Текст] / А.И. Сухинов; Известия ЮФУ. Технические науки. – 2006. – № 3 (58). – С. 228-235.
 13. Экосистемные исследования Азовского моря и побережья. Т IV [Текст] / Коллектив авторов – Апатиты: Изд. Кольского научного центра РАН / – 2002. – 447 с.

Zhidkova Alena Yurievna

Don state technical university
Taganrog branch, Russia, Taganrog
E-mail: soleils@bk.ru

Gusakova Natalia Vladimirovna

Southern federal university, Russia, Rostov-on-Don
E-mail: gusakova@sfedu.ru

Assessment of the internal nutrient load on the waters of the Gulf of Taganrog of the Sea of Azov from the position of the eutrophication

Abstract. The article assesses the internal nutrient load, namely nitrogen and phosphorus, on the waters of the Gulf of Taganrog of the Sea of Azov from the position of the eutrophication. The authors provide a detailed calculation of the internal phosphorus and nitrogen loads, based on the concepts of the formation mechanisms of the flow of substances from the bottom sediments as a concentration diffusion and convective transfer.

The increase in the eutrophication of the waters of the Gulf of Taganrog of the Sea of Azov leads to the increase in the flow of the organic matter to its bottom. This causes the intensification of the processes of the biochemical oxidation in the bottom sediments, the oxidation-reduction conditions change, and the content of the mobile forms of nitrogen and phosphorus increases, namely, their flow from the bottom sediments into the water increases. Thus, the eutrophic level of the reservoir is one of the main factors determining the internal load of reservoirs by nutrients.

The Gulf of Taganrog of the Sea of Azov was chosen as the object of the research as the water object, whose features are shallow water, good warm-up, weak salinity, lack of strong currents, and prevalence of the overtaking currents. As a result, the water area is the subject to active eutrophication, and the assessment of the internal nutrient loading is carried out by the authors for a deeper understanding of the processes of the water eutrophication.

Keywords: eutrophication; internal load; nitrogen; phosphorus; the Gulf of Taganrog; bottom sediments; nutrients

REFERENCES

1. Alexandrova Z.V., Baskakova T.E., Kartamysheva T.B., Shevtsova E.A., Syundyukov Sh.Z. (2013). Hydrochemical characteristics of the south-eastern Sea of Azov. *Environmental protection in the oil and gas sector*, 12, pp. 19-25. (in Russian).
2. Guseva A.U., Gusakova N.V. (2014). The Determination of the Taganrog Bay's Outward Load of the Biogens. *Safety of vital functions*, 1, pp. 36-41. (in Russian).
3. Guseva A.Y., Gusakova N.V., Petrov V.V. (2014). Experimental studies in water eutrophication within the regional ecological safety. *Izvestiya SFEDU. Engineering sciences*, 9(158), pp. 238-246. (in Russian).
4. Guseva A.Y., Gusakova N.V. (2013). The estimation of the biogens' ecology allowable contents in the taganrog bay of the azov sea based on the developed eutrophication model. *Izvestiya SFEDU. Engineering sciences*, 9(146), pp. 240-245. (in Russian).

5. Zhidkova A.Yu., Gusakova N.V., Petrov V.V. (2015). Identification of the limiting eutrophication of an element in the aquatic ecosystem. *Auditorium*, [online] 4(08), pp. 70-79. Available at: <http://auditorium.kursksu.ru/pdf/008-010.pdf> (in Russian).
6. Kuznetsov S.I. (1970). Mikroflora ozer i ee geokhimicheskaya deyatel'nost'. [*Microflora of lakes and its geochemical activity.*] Leningrad: Science, p. 318.
7. Martynova M.V. (2008). Impact of the chemical composition of bottom sediments on internal phosphorus load. *Water Resources*, 3(35), pp. 358-363. (in Russian).
8. Matishov G.G., Stepanyan O.V., Grigorenko K.S., Kharkovskiy V.M., Povazhnyi V. V., Soier V.G. (2015). Specific features of hydrological and hydrochemical conditions of the Sea of Azov and the Black Sea in 2013. *Bulletin of the Southern Scientific Center*, 2(11), pp. 36-44. (in Russian).
9. Neverova-Dziopak E.V. (2003). Teoreticheskoe, metodologicheskoe i inzhenernoe obespechenie okhrany poverkhnostnykh vod ot antropogennoy evtrofirovaniya. [*Theoretical, methodological and engineering support of surface water protection from anthropogenic eutrophication.*] Saint-Petersburg, p. 345.
10. Sukhinov A.I., Nikitina A.V., Chistyakov A.E., Semenov I.S., Semenyakina A.A., Khachunts D.S. (2016). Mathematical modeling of eutrophication processes in shallow water reservoirs on a multiprocessor computer system. *Parallel'nye vychislitel'nye tekhnologii*, pp. 320-333. (in Russian).
11. Sukhinov A.I., Nikitina A.V., Khachunts D.S., Chistyakov A.E. (2016). Matematicheskoe modelirovanie prostranstvenno-neodnorodnykh gidrobiologicheskikh protsessov v Azovskom more. [*Mathematical modeling of spatially inhomogeneous hydrobiological processes in the Azov Sea.*] Taganrog, p. 172.
12. Sukhinov A.I. (2006). Precision models of hydrodynamics and experience of their application in prediction and reconstruction of emergency situations in the Azov Sea. *Izvestiya SFEDU. Engineering sciences*, 3(58), pp. 238-235. (in Russian).
13. Team of Authors (2002). Ekosistemnye issledovaniya Azovskogo morya i poberezh'ya. [*Ecosystem research of the Azov Sea and the coast.*] Apatity: Ed. Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, p. 447.