

УДК 556

*О.Н. Урбанова, Д.А. Семанов, А.Т. Горшкова, А.И. Каримова, Н.В. Бортникова***ВЫНОС БИОГЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ С ВОДОСБОРОВ МАЛЫХ РЕК
РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН**

На формирование выноса биогенных элементов и их содержание в поверхностных водных объектах существенное влияние оказывают природные и антропогенные условия водосборных территорий. Целью данной работы явилось определение основных факторов формирования выноса биогенных элементов с водосборных площадей малых рек Республики Татарстан, расчет переноса этих элементов через замыкающий, максимально близкий к устью створ ряда малых рек республики и анализ их содержания в водах Куйбышевского и Нижнекамского водохранилищ. Объектами исследования явились малые реки Республики Татарстан, впадающие в Куйбышевское и Нижнекамское водохранилища. С применением метода географического, экологического, сравнительного, литературного анализа определены основные факторы формирования выноса биогенов с водосборных площадей, а также характерные особенности биогенных веществ, определяющие их циркуляцию в природной среде. Проанализированы подходы к разработке прогнозных математических моделей смыва биогенных веществ с сельскохозяйственных угодий в водные объекты. В результате проведенных исследований установлено, что основное содержание биогенных элементов в водах Куйбышевского и Нижнекамского водохранилищ формируется не малыми реками, а сточными водами крупных промышленных центров, расположенных на берегах этих водоемов.

Ключевые слова: биогенные элементы, факторы формирования смыва, оценка биогенной нагрузки, прогнозирование выноса.

К биогенным веществам, или биогенам (от греческого *bios* – жизнь, *genos* – рождение), относят вещества, представляющие собой основные минеральные соединения азота (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+), фосфора (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} , PO_4^{3-}), кремния (HSiO_3^- , SiO_3^{2-}), железа (Fe^{2+} , Fe^{3+}) и некоторых микроэлементов, содержащиеся в природных водах в виде ионов или коллоидов.

Концентрация биогенных элементов в природной воде обычно невелика, непостоянна во времени и зависит от многих факторов. В первую очередь она определяется поступлением биогенных элементов с атмосферными осадками, стекающими с водосборной площади, с промышленными, хозяйственно-бытовыми, сельскохозяйственными сточными водами, а также результатом жизнедеятельности растительных и водных организмов, в жизни которых биогены играют определенную роль.

Любая хозяйственная (особенно сельскохозяйственная) деятельность на водосборной площади нарушает естественный круговорот веществ, изменяет потоки биогенных элементов, что приводит к снижению их концентрации в одних местах и накоплению в других. В природных экосистемах биологический круговорот веществ заключается в поглощении из почвы определенного количества биогенов и возвращении их в почву в результате процессов разложения плодов, растительного опада, отмерших побегов и корней. Происходит это обычно с небольшой скоростью накопления или расходования биогенных веществ. Этот естественный, практически замкнутый баланс биогенов нарушается вмешательством человека, заключающимся в ежегодном сборе растений, содержащих извлеченные из почвы биогены, и перемещении их на большие расстояния к местам потребления.

В агроэкосистемах скорость выноса питательных веществ на 1–3 порядка больше, чем в природных системах. К примеру, всего в мире с урожаем зерна выносятся около 40 млн т азота в год, а это примерно 63 кг с 1 га площади зерновых. Следовательно, даже если первоначальный запас питательных веществ в почве и был значительным, в агроэкосистеме он может израсходоваться сравнительно быстро. Отсюда следует необходимость внесения удобрений, так как при интенсивном земледелии без удобрений плодородие почвы снижается уже на второй год. Обычно применяются азотные, фосфорные и калийные удобрения в различных формах и сочетаниях в зависимости от местных условий [1].

В результате значительной сельскохозяйственной освоенности водосборов, вызывающей развитие эрозионных процессов, увеличивается вынос с полей почвенных частиц, вместе с которыми выносятся и внесенные в почву в виде удобрений соединения азота, фосфора и калия. Продукты выноса, как правило, поступают в поверхностные водные объекты (озера и малые реки). Водосборные площа-

ди, с территории которых в поверхностные водные объекты поступает до 70 % загрязнений, являются слабоуправляемыми источниками загрязнения [2].

Поступление фосфорных и азотных соединений в водные объекты приводит к глубокому изменению водных экосистем, которое выражается в усиленном развитии фитопланктона, прибрежных зарослей, водорослей, «цветении» воды, и, как следствие, к нарушению экологического равновесия в водных объектах, ухудшению качества воды, гибели молоди рыб и других организмов.

Другим поставщиком биогенных элементов, в частности соединений азота, в природных водах является сам комплекс живых обитателей водных объектов. Связано это с их жизнедеятельностью, когда начинается разложение различных сложных органических веществ животного и растительного происхождения, а также разложение белковых веществ, попадающих в водные объекты с бытовыми сточными водами.

Острота возникшей проблемы и напряженная обстановка в бассейнах рек возникли не сегодня, а нарастали постепенно по мере увеличения распаханности территории, сокращения площадей лесов, возрастания доз применения удобрений на полях и влияния других антропогенных факторов, которые своевременно не были заблокированы построением средозащитных комплексов на водосборных бассейнах. И, как следствие, в настоящее время наблюдаются заиление и загрязнение рек и водоемов и формирование в них неблагоприятной экологической обстановки.

На вынос биогенов с водосборных площадей существенное влияние оказывают природно-климатические и экономические условия территории. В первую очередь это характер рельефа, метеорологические условия, состав и тип почв, особенности распределения естественных и сельскохозяйственных угодий, фазы развития растительного покрова, сроки внесения удобрений, их количество и т. д.

Республика Татарстан (РТ), расположенная на востоке Европейской территории России, в среднем течении Волги и нижнем течении Камы, занимает площадь в 68 тыс. км². Основная часть ее территории представляет собой земли сельскохозяйственного назначения, общая площадь которых составляет 46,4 тыс. км² (68 % земельного фонда РТ). Площадь земель, относящихся к сельскохозяйственным угодьям, составляет 43,2 тыс. км² (93 %), из них пашни – 32,8 тыс. км², что в структуре земель сельскохозяйственного назначения занимает 76,6 %. Площадь земель, не относящихся к сельскохозяйственным угодьям (здания, сооружения, дороги, земельные участки, предназначенные для обслуживания сельхозпроизводства), составляет 3,1 тыс. км² (6,7 %) [3].

Все земли сельскохозяйственного назначения подвержены процессам эрозии, основополагающим фактором которой является рельеф местности, особенности которого (различная крутизна, длина, форма и экспозиция склонов) способствуют перераспределению количества и интенсивности атмосферных осадков, изменяют объем и скорость склонового стока, влажность и водопроницаемость почв и, как следствие, формируют различный по интенсивности смыв почв. Смыв поверхностного слоя почвы начинается в случае достижения длины склона определенной критической величины и достаточном количестве выпавших осадков даже при самом минимальном уклоне склона. Увеличение уклонов местности от 1° до 5° увеличивает смыв почвы в 2–3 раза. Если учесть то обстоятельство, что более половины площадей сельскохозяйственных угодий РТ (70 %) расположены на крутых склонах (2–5° и более), то результатом смыва почвы с них является появление промоин, ложбин и оврагов. По данным Управления Росреестра по РТ, площадь оврагов в республике составляет 41,8 км², а их протяженность достигает 27,3 тыс. км. Из-за роста оврагов ежегодно из сельскохозяйственного оборота выводится 1 тыс. га сельхозугодий.

Усилению процессов эрозии почв способствует их тяжелый механический состав, подверженный технологическому переуплотнению и утрате комковато-зернистой структуры, что, в свою очередь, ухудшает водные свойства почв, изменяет ее воздушный и тепловой режим. Активизирует процессы эрозии и высокая распаханность земель (76,0 %), и низкая их облесенность (3,5 % при оптуме 4,7–7,0 %). Площадь эрозионноопасных земель сельскохозяйственного назначения в РТ составляет 2263 тыс. км². Из них переувлажнено 76,9 тыс. км², заболочено 55,7 тыс. км², засолено 15,6 тыс. км², а каменистые почвы составляют 232,3 тыс. км². С каждым годом площадь земель, подверженных водной эрозии, по физико-географическим зонам республики увеличивается. Так, за последние 40 лет она увеличилась в Предкамье на 31 % (от общей площади пашни), в Предволжье – на 35 %, в Закамье – на 12 % [3]. Активному выносу взвешенных частиц почвы, а вместе с ней и биогенных ве-

ществ в водотоки способствует распашка территории водосбора. Для распаханых почв характерны низкая водопроницаемость, интенсивность процессов физико-химического выветривания, изменение условий миграции питательных веществ, сокращение гумусового горизонта и дефицит подвижных форм азота, фосфора, калия.

Попытки многих исследователей создать универсальную модель формирования стока и смыва биогенов с сельскохозяйственных угодий водосбора, основанную на единой системе уравнений, пригодную на все случаи жизни, не увенчались успехом. По этому поводу Дж. Касти писал: «... Не существует единой модели данной системы: существует множество моделей, каждая из которых обладает характерными математическими свойствами и каждая из которых пригодна для изучения определенного класса вопросов, связанных со структурой и функционированием системы. Поэтому особенно важно, чтобы исследователь имел в своем распоряжении как можно больше математических методов анализа принципов построения и работы созданной им модели» [4].

В настоящее время в гидрологической практике накоплен некоторый опыт разработки математических моделей речных бассейнов, предназначенных для решения задач, связанных с прогнозами смыва биогенных веществ, планированием природоохранных мероприятий, оценкой антропогенных воздействий на сток, проектированием противоэрозионных и водоохраных сооружений и т. д. Все разработанные модели отличаются друг от друга структурой и целями исследований, входными и выходными характеристиками, степенью универсальности по отношению к вводимой информации и к используемым в них показателям. Только в Гидрохимическом институте на основе полевых наблюдений построено около 60 частных моделей выноса азота в форме NH_4^+ и более 90 в форме NO_2^- , а также получены зависимости смыва NO_3^- и H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} с сельскохозяйственных территорий [5].

Одни модели основываются на корреляционной зависимости между количеством смытого вещества и такими показателями, как поверхностный сток (организованный и неорганизованный), внутрипочвенный сток с земельных угодий, эрозионный смыв, содержание питательных веществ в почве, вид землепользования на водосборе, уровень полученной урожайности сельскохозяйственных культур. Другие модели представляют собой концептуальные, балансовые и физико-математические модели, представляющие собой ряд математических зависимостей, которые аппроксимируют реальные процессы, происходящие в природе, и не используют случайные компоненты. Они различаются по своей структуре и имеют разные временные интервалы и конечные цели.

Все разработанные модели основаны на большом объеме натуральных данных, иногда достигающих до 20 параметров, часть из которых может быть получена только путем полевых исследований в пределах территории, где определяется экологическая ситуация. Многие модели дают лишь схематическое представление о процессе формирования биогенной нагрузки и ее динамике и не могут быть использованы для прогнозирования и оптимизации биогенного загрязнения вод малых рек Республики Татарстан. Главными причинами этого являются трудоемкость расчетов и отсутствие данных длительных полевых исследований.

Среди проанализированных моделей наиболее приближенными к условиям РТ в Институте экологии природных систем АН РТ (ныне Институт проблем экологии и недропользования АН РТ) была выбрана модель определения выноса биогенов с сельскохозяйственных угодий в водные объекты в растворенном виде, разработанная во Всесоюзном научно-исследовательском институте земледелия и защиты почв от эрозии [6], и модель выноса биогенов с твердым стоком, разработанная во Всесоюзном научно-исследовательском институте лесоводства и механизации лесного хозяйства [7]. Первая модель, позволяющая определить массу биогенных элементов, основана на водном стоке, содержании питательных веществ в пахотном слое почвы, количестве внесенных удобрений. Эти данные тесно увязаны с состоянием подстилающей поверхности водосбора и с процессами, происходящими между почвой, удобрениями, растительностью и стоком, которые описаны экспериментально найденными значениями коэффициентов. Поверхностный слой стока, используемый в данной модели как транспортный фактор миграции биогенных веществ и почвы с сельхозугодий в водотоки, представляет собой интегральный показатель, учитывающий значительное количество частных факторов (тип и механический состав, коэффициенты фильтрации и испарения стока, рельеф и уклон местности, увлажненность территории и пр.).

Модель позволяла сделать количественную оценку смыва биогенных веществ с удобренных сельхозугодий в водные объекты согласно следующей формуле:

$$C = (\alpha \cdot D_n + b \cdot D_y) \cdot K_a \cdot h \cdot 10^{-3},$$

где C – масса биогенных элементов, кг/га;

α – параметр растворимости биогенного элемента в стоке (кг/л), показывающий изменение концентрации биогенного элемента в стоке в мг/л при изменении содержания его в 1 кг почвы на 1 мг (табл. 1);

D_n – содержание подвижных форм питательных элементов в пахотном слое, мг/кг;

b – параметр перехода удобрений в сток, показывающий изменение концентрации биогенного элемента в стоке в мг/л при внесении на гектар 1 кг действующего вещества удобрений (табл. 2).

D_y – доза внесенных удобрений, кг/га;

K_a – коэффициент, характеризующий влияние агротехнического фона на концентрацию биогенных веществ в стоке (таблица 3).

h – поверхностный склоновый слой стока, мм;

10^{-3} – коэффициент размерности.

Таблица 1

Параметр растворимости биогенного элемента

Биогенные элементы	Параметр растворимости α
Азот	0,144
Фосфор	0,002
Калий	0,018

Таблица 2

Параметры перехода удобрений в сток

Сроки (способы)	Значения (b) по внесению удобрений		
	азот	Фосфор	калий
Осенью под вспашку	0,010	0,0013	0,003
Осенью поверхностно	0,085	0,0310	0,015
Осенью поверхностно по мерзлой почве	0,216	0,0510	0,134
Весной по таломерзлой почве	0,866	0,5940	0,784

Таблица 3

Коэффициент влияния агротехнического фона на концентрацию биогенов

Агротехнический фон	Азот	Фосфор	Калий
Вспашка	1,0	1,0	1,0
Озимые зерновые, многолетние травы, пастбища и сенокосы	0,7	1,1	1,1

Вторая модель была выбрана для прогнозирования потерь биогенных веществ вместе с твердым стоком. В основе ее лежит процесс смыва биогенов, который описывается следующей зависимостью:

$$B = H \cdot C \cdot K \cdot 10^{-2},$$

где B – масса биогенных веществ, смытых с твердым стоком, кг/га;

H – твердый сток, т/га;

C – содержание питательных веществ в пахотном слое почвы, мг/кг;

K – коэффициент, учитывающий изменение содержания питательных веществ в наносах, смываемых в водотоки; его значения разработаны А.П. Пухачевым и составляют по азоту 1,6, по фосфору – 1,2 и по калию – 1,55 [8];

10^{-2} – коэффициент размерности.

Эта формула построена методически правильно: чем выше сток твердых частиц, тем выше вынос биогенов, содержащихся в нем. Расчет смытого твердого стока производился по общепринятой методике по определению расчетных гидрологических характеристик при проектировании противоэрозионных мероприятий на европейской территории СССР.

Цель данной работы – определение основных факторов формирования выноса биогенных элементов с водосборных площадей малых рек Республики Татарстан, расчет переноса этих элементов через замыкающий, максимально близкий к устью, створ ряда малых рек республики и анализ их содержания в водах Куйбышевского и Нижнекамского водохранилищ.

Материалы и методы исследований

Объектами исследования были малые реки Республики Татарстан, впадающие в Куйбышевское и Нижнекамское водохранилища. С применением метода географического, экологического, сравнительного, литературного анализа определены основные факторы формирования выноса биогенов с водосборных площадей, а также характерные особенности биогенных веществ, определяющие их циркуляцию в природной среде.

В данной работе проанализирован вынос биогенных элементов малыми реками Республики Татарстан в Куйбышевское и Нижнекамское водохранилища по результатам контрольных проб воды, отобранных в замыкающих створах водотоков, ведь именно с таким качеством речная вода поступает в принимающий водоем.

Каждая проба воды отражает генетический состав речной воды (объемное соотношение склонового, почвенного и грунтового типов вод) в момент ее отбора. Ключевым является качество воды именно в замыкающем створе, так как при движении до места впадения на всем протяжении реки водоток получает определенное количество загрязнений.

Результаты и их обсуждение

В настоящее время динамику поступления биогенных веществ, их объем можно оценить по величине биогенной нагрузки, представляющей собой массу вещества, поступившего в водный объект в единицу времени на единицу площади акватории или объем водной массы [9]. Биогенная нагрузка на водные объекты рассчитывается двумя способами. В первом случае, при наличии информации о точечных и диффузных источниках стока на водосборе, рассчитывается общая нагрузка на водный объект с водосбора с выделением биогенного стока естественного и антропогенного происхождения [9; 10]. Во втором случае рассчитывается перенос биогенных и органических веществ через замыкающий створ водотока (максимально близкий к устью). Это позволяет пространственно дифференцировать вынос биогенов в пределах водосборной площади до данного замыкающего створа, то есть полученная величина несет на себе площадной характер.

Естественно, что при движении до места впадения водоток получает определенное количество загрязнений от населенных пунктов, расположенных на его берегах, качество воды может ухудшаться за счет поверхностного стока с территорий фермерских хозяйств, пастбищ, полей, на всем протяжении реки существуют участки, где она получает основной объем загрязнений и где происходит самоочищение воды. Однако ключевым будет качество воды именно в замыкающем створе, ведь именно с таким качеством речная вода поступает в принимающий водоем.

Каждая проба воды, отобранная в некотором створе малой реки, отражает генетический состав речной воды (объемное соотношение склонового, почвенного и грунтового типов вод) в момент ее отбора.

Нагрузка на принимающие водные объекты и перенос биогенов через створ рассчитываются по следующей формуле:

$$L = \sum_{i=1}^n C_{ai} W_{ai},$$

где C_{ai} – среднеарифметическая концентрация вещества в последовательных пробах;

W_{ai} – объем стока за период между отбором проб;

n – число измерений.

Анализ полученных результатов показал, что нагрузка от каждой из рек, за редким исключением, прямо пропорциональна размерам речного бассейна и суммарному среднему расходу воды. Нагрузка от водотока пропорциональна водности и может увеличиваться или уменьшаться в зависимости от фазы водного режима. Следовательно, одним из критериев степени загрязненности речной экосистемы (независимо от характера водопользования и различных в связи с этим величин ПДК) может быть тот предел, выше которого нагрузка от реки перестает быть пропорциональной площади ее водосбора, то есть река практически теряет способность к самоочищению.

Вынос биогенных веществ малыми реками в Куйбышевское водохранилище (средний за 2014 г.) представлен на рис. 1 и 2.

Наиболее вымываемым биогенным элементом являются нитраты, наибольшее количество которых выносят в Куйбышевское водохранилище со своих водосборов реки Свяга, Казанка, Большой Черемшан, Вятка и Белая. На графиках наглядно показано, что нагрузка от каждой из рек действительно прямо пропорциональна размерам речного бассейна и суммарному среднему расходу воды.

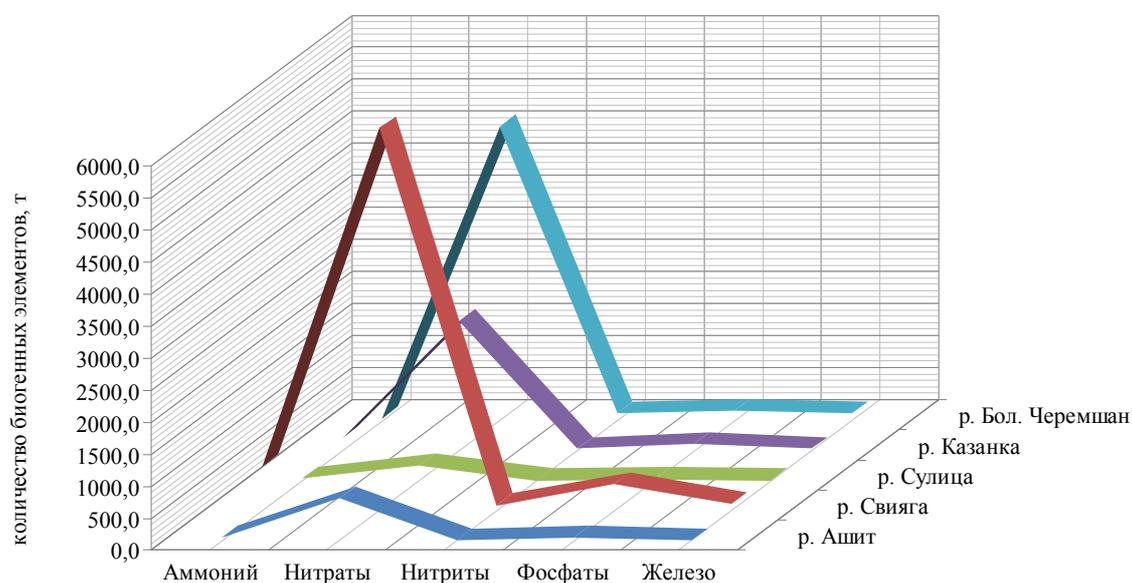


Рис. 1. Вынос биогенных элементов малыми реками в Волжский плес Куйбышевского водохранилища

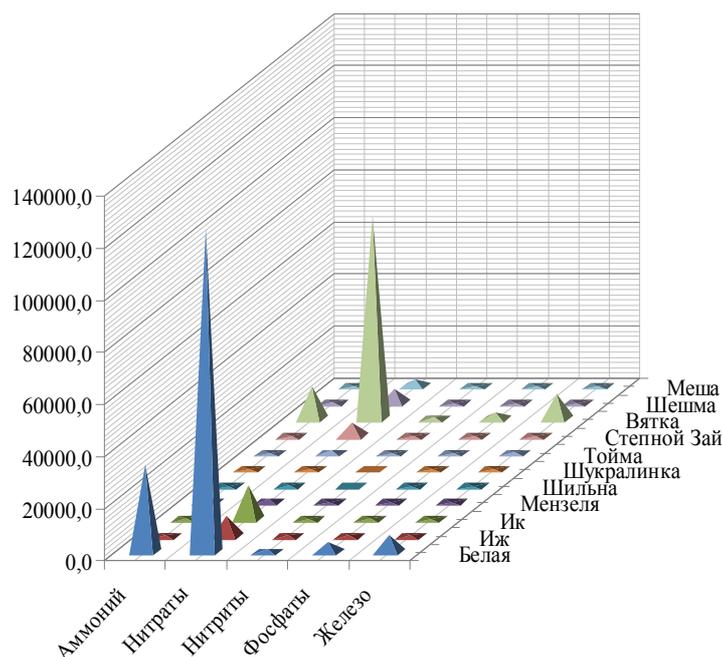


Рис. 2. Вынос биогенных элементов малыми реками в Нижнекамское водохранилище, р. Кама и Камский плес Куйбышевского водохранилища

Сопоставляя количество выносимых реками биогенов с водосборов и содержание элементов в воде Куйбышевского водохранилища, в створах, расположенных ниже устья указанных рек, наглядно наблюдаем следующую картину (рис. 3). Основным загрязнителем остаются нитраты с добавлением аммонийного азота. Причем реки приносят незначительное их количество. В водах водохранилища данные биогенные элементы появляются ниже г. Зеленодольск и г. Казань, а также н.п. Кызыл-Байрак, являющегося замыкающим створом, перед Камским заливом.

Такая же картина наблюдается и на Нижнекамском водохранилище, на р. Каме и Камском заливе Куйбышевского водохранилища. Большое количество нитратов и аммонийного азота приносит в Нижнекамское водохранилище река Белая, что отражается на качестве воды в районе Красного Бора и Белоуса. Большие концентрации биогенов отмечены и у н.п. Бетьки (ниже г. Набережные Челны), г. Елабуги, а также у н.п. Красный Ключ и Березовая Грива (ниже г. Нижнекамска). Но самое большое количество нитратов и аммонийного азота отмечено у н.п. Сорочьи Горы, являющегося замыкающим створом для Камского залива Куйбышевского водохранилища.

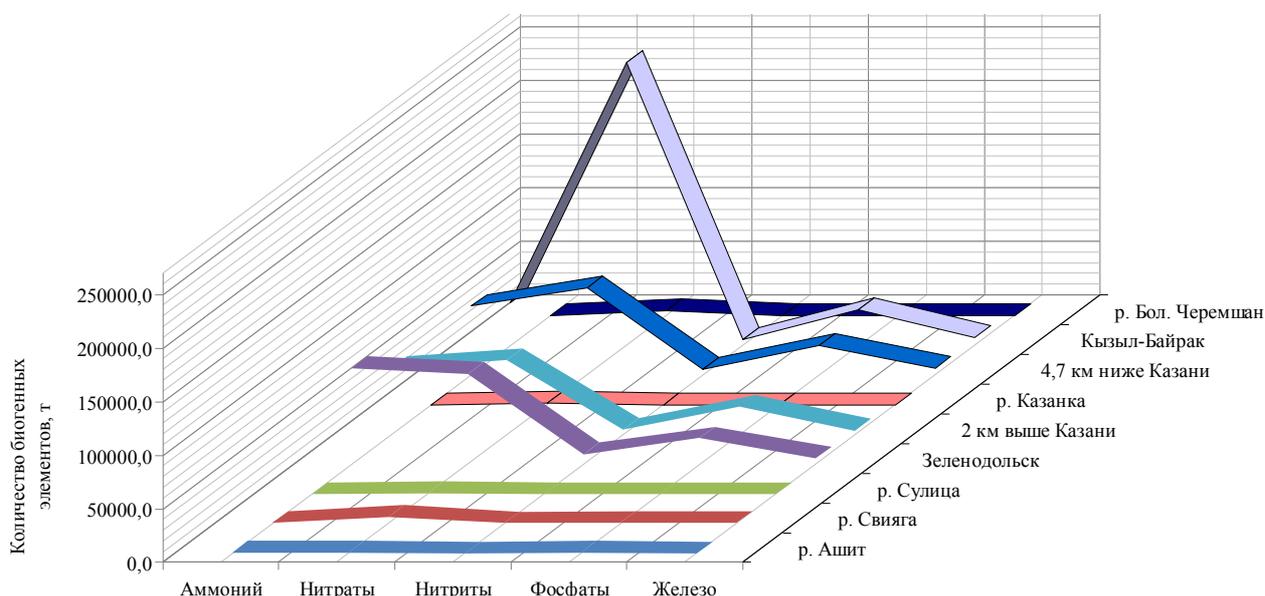


Рис. 3. Поступление из рек и содержание биогенных элементов в Волжском плёсе Куйбышевского водохранилища

Заключение

Таким образом, построенные на натуральных данных диаграммы показывают, что основное количество биогенных элементов поступает в водохранилища не с поверхностным стоком с сельхозугодий в случае использования аммонийных удобрений, а с промышленными и хозяйственно-бытовыми сточными водами крупных населенных пунктов, расположенных по берегам Волги и Камы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Студенческая электронная онлайн-библиотека. URL: <http://yourlib.net/content/view/11901/140/> (дата обращения: 15.09.2015).
2. Черняев Ф.М., Прохорова Н.Б., Дальков М.П., Шахов И.С. Бассейн-П. Стратегия управления устойчивым водопользованием. Екатеринбург: Виктор, 1997. 236 с.
3. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и об охране окружающей среды Республики Татарстан в 2014 году. Казань: Заман. 2015. 531 с.
4. Касти Дж. Большие системы. Связанность, сложность и катастрофы. М.: Мир, 1982. 216 с.
5. Постоялкина Л.С., Боценюк К.Л., Павелко В.Л. Построение математических моделей выноса азота и фосфора с орошаемых участков: гидрохимические материалы. М.: Стройиздат, 1981. 78 с.

6. Методические рекомендации по оценке выноса биогенных веществ поверхностным стоком. М.: ВНИИ земледелия и защиты почв от эрозии, 1985. 32 с.
7. Рекомендация по проектированию и созданию сети противоэрозионных и водоохраных мероприятий на водосборах. М.: Агропромиздат, 1990. 32 с.
8. Пухачев А.П., Люлин В.В., Шакиров Ф.Х., Гафаров Г.Я., Хасанкаев Ч.С. Специальные меры защиты почв от эрозии // Системы земледелия Татарской АССР. 1988. С. 41-50.
9. 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.
10. Александров С.В., Горбунова Ю.А. Биогенная нагрузка на Вислинский залив со стоком реки Преголя // Вода: химия и экология. 2010. № 1. С. 4-8.

Поступила в редакцию 15.10.15

O.N. Urbanova, D.A. Semanov, A.T. Gorshkova, A.I. Karimova, N.V. Bortnikova

LEACHING OF NUTRIENTS FROM THE CATCHMENT AREAS OF SMALL RIVERS IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN

Natural and human circumstances of catchment areas significantly affect the formation of biogenic elements and their content in the surface water bodies. The aim of this study was: (i) to determine the main factors that affect biogenic elements formation in catchment territories of small rivers in Tatarstan Republic; (ii) to calculate the transfer of these elements through the gauging section (closest to the mouth) of a number of small rivers of the republic; (iii) to analyze their content in the waters of the Kuibyshev and Nizhnekamsk reservoirs. The objects of the study were the small rivers of the Republic of Tatarstan, flowing into the Kuibyshev and Nizhnekamsk reservoirs. We used geographical, ecological, comparative, literary analysis to identify the main factors shaping the removal of nutrients from a catchment area. Also we identified features of biogenic substances that determine their circulation in the environment. Approaches to the development of predictive mathematical models of flushing the nutrients from farmland into water bodies were analyzed. It was found that not small rivers but the wastewater of large industrial centers located on the banks of reservoirs form the main content of nutrients in the waters of the Kuibyshev and Nizhnekamsk reservoirs.

Keywords: nutrients, factors of formation of flushing, nutrient load estimation, forecasting of removal.

Урбанова Ольга Николаевна,
старший научный сотрудник лаборатории гидрологии
E-mail: urbanovoi@mail.ru

Семанов Дмитрий Александрович,
кандидат химических наук,
научный сотрудник лаборатории гидрологии
E-mail: Dmitrii.Semanov@kpfu.ru

Горшкова Асия Тихоновна,
кандидат географических наук,
заведующая лабораторией гидрологии
E-mail: agorshkova@gmail.com

Каримова Айгуль Ильгизовна,
аспирант лаборатории гидрологии
E-mail: aigy199_99@mail.ru

Бортникова Наталья Валерьевна,
научный сотрудник лаборатории гидрологии
E-mail: nataly.bortnikova@gmail.com

Институт проблем экологии и недропользования
Академии наук Республики Татарстан
420087, Россия, г. Казань, ул. Даурская, 28

Urbanova O.N.,
Senior researcher at Laboratory of Hydrology
E-mail: urbanovoi@mail.ru

Semanov D.A.,
Candidate of Chemistry, Researcher
at Laboratory of Hydrology
E-mail: Dmitrii.Semanov@kpfu.ru

Gorshkova A.T.,
Candidate of Geography,
Head of Laboratory of Hydrology
E-mail: agorshkova@gmail.com

Karimova A.I.,
postgraduate student at Laboratory of Hydrology
E-mail: aigy199_99@mail.ru

Bortnikova N.V.,
Researcher at Laboratory of Hydrology
E-mail: nataly.bortnikova@gmail.com

Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use
of Tatarstan Academy of Sciences
Daurskaya st., 28, Kazan, Russia, 420087