



ИЗУЧЕНИЕ ВНЕШНЕЙ НАГРУЗКИ НА ПРУД ЯНТАРНЫЙ (КАЛИНИНГРАДСКАЯ ОБЛАСТЬ) В 2018 ГОДУ

В.В. Моисеенко, студентка, moiseenko09@yandex.ru
Н.А. Цупикова, канд. геол.-мин.наук, доц., tsoupikova@klgtu.ru
ФГБОУ ВО «Калининградский государственный технический
университет»

В работе приведена оценка воздействия вод, поступающих с территории водосборного бассейна в воды пруда Янтарного – обводненного карьера, расположенного в пгт Янтарном. Авторы рассчитали площадь ряда функциональных зон и определили объём дождевых, талых и поливочных вод, стекающих с водосборного бассейна в пруд. Вычислены рассредоточенная и рекреационная нагрузки по общему азоту и общему фосфору. Полученные результаты сопоставлены с рассчитанной допустимой нагрузкой по величине поступающего в водоем фосфора. Оценено текущее экологическое состояние водоема на основании гидрохимического мониторинга.

пруд Янтарный, биогенная нагрузка, экологическое состояние

Интенсивная антропогенная нагрузка на природную среду приводит к обострению экологических проблем, связанных с функционированием экосистем, в том числе обусловленным состоянием поверхностных и подземных вод, которые загрязняются биогенными и токсичными веществами, а также подвергаются усиленному эвтрофированию.

Главной причиной эвтрофикации водоемов является повышение содержания в воде биогенных веществ, таких как фосфор и азот [1]. К основным факторам антропогенного поступления данных элементов в водоем относятся: неочищенные сточные воды, сельскохозяйственные угодья (пашни, сенокосы, пастбища), объекты животноводства (помещения для содержания скота, отстойники сточных вод, навозохранилища и жиесборники), склады минеральных удобрений, сельские населенные пункты и территории садово-огородных товариществ, а также естественный растительный покров (леса, луга, болота) и атмосферные осадки.

Возрастающее антропогенное и техногенное воздействие на окружающую среду весьма ощутимо во многих регионах Российской Федерации, включая Калининградскую область, где отмечено повышение количества внесения минеральных удобрений на 27 % в 2017 г., активное использование пестицидов и агрохимикатов. В целом уровень сельскохозяйственной освоенности земель в Калининградской области в два раза превышает среднероссийский [2], что обуславливает необходимость проведения научных исследований в целях обеспечения экологической безопасности.

Одним из довольно значительных по размеру водоемов Калининградской области является пруд Янтарный, который образовался после отработки карьера по добыче янтаря «Вальтер» в 1972 г. путем заполнения его родниковыми и грунтовыми водами и формирования обводненного карьера [3]. С 1979 по 1983 г. на водоеме функционировало садковое рыболовное форелевое хозяйство [4].

Водоем расположен в пределах муниципального образования «Янтарный городской округ», в 40 км к северо-западу от г. Калининграда, на высоте 30 м над уровнем моря (рис. 1).

Водоем пресноводный, со средней глубиной 18 м и площадью 111 га. Ширина составляет 600, длина 1900 м и объем котловины – 22,2 млн м³. Пруд Янтарный имеет

небольшую площадь водосборного бассейна – 102 га, длина его береговой линии приблизительно 5 км. Расположен в 700 м от побережья Балтийского моря [5].

Функциональное назначение территории водосборного бассейна данного водоема отражает Генеральный план МО «Янтарный городской округ» (рис. 2).

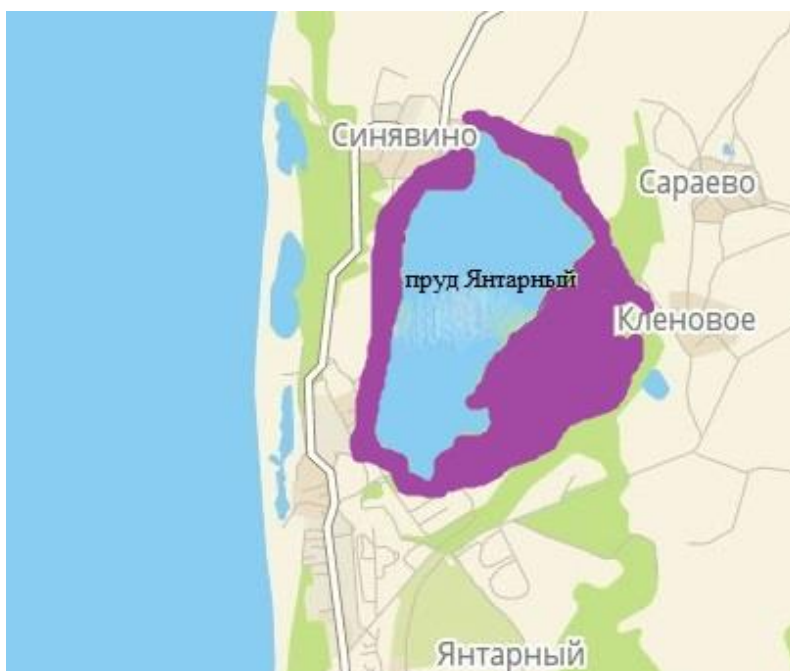


Рисунок 1 – Схема пруда Янтарного с обозначением водосборного бассейна вокруг водоема (выполнено автором)

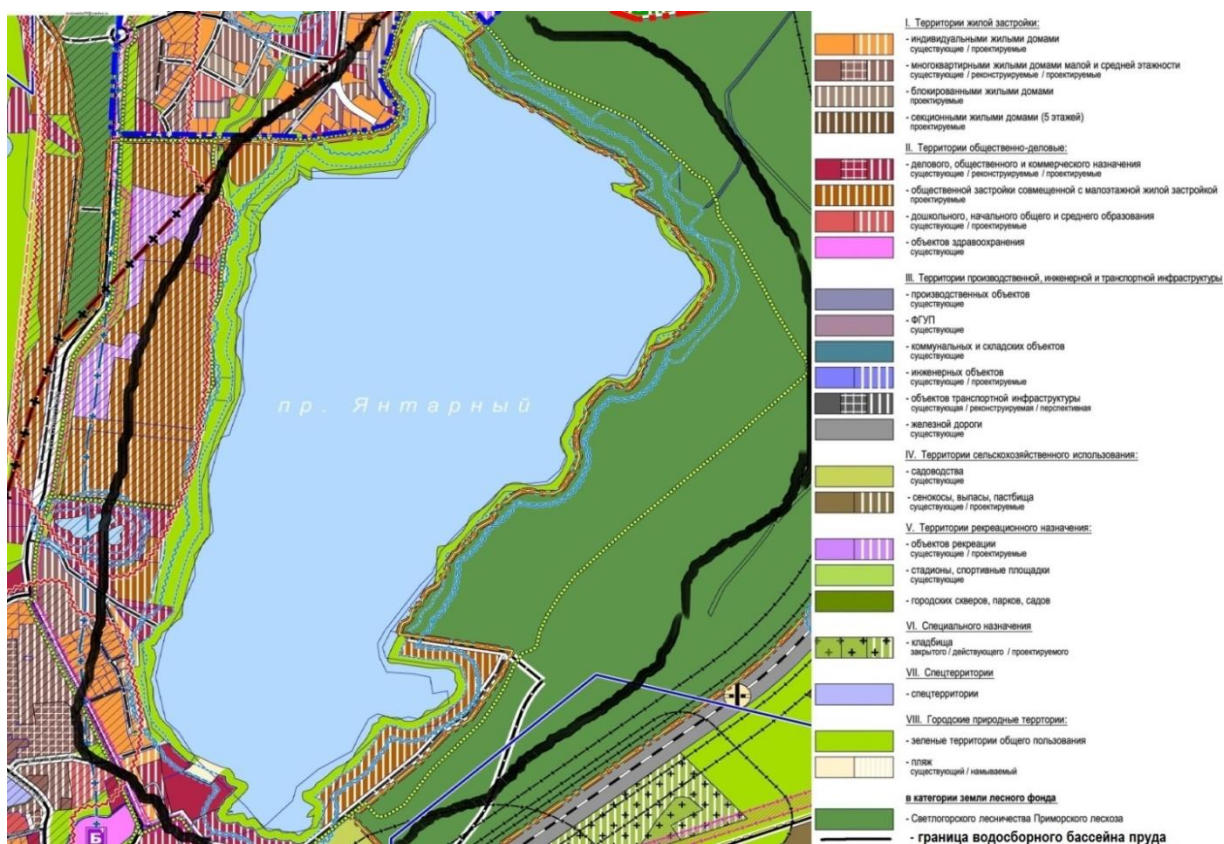


Рисунок 2 – Функциональное зонирование земель водосборного бассейна пруда Янтарного [6]

Произведенные расчеты показали, что согласно кадастровой карте [6] большая часть земель водосборного бассейна данного водоема расположена в пределах Светлогорского

лесничества Приморского лесхоза (таблица) и частично занята территориями жилой застройки.

Таблица 1 – Функциональное назначение земель территории водосборного бассейна пруда Янтарного (расчеты автора)

Функциональное назначение земель	Площадь, км ²	Доля от общей площади водосборного бассейна, %
Земли лесного фонда	0,577	55,00
Городские зеленые территории общего пользования	0,09	8,82
Территории делового, общественного и коммерческого назначения	0,059	5,78
Территории объектов рекреационного назначения	0,056	5,49
Территории общественной застройки, совмещенные с малоэтажной жилой застройкой	0,134	13,14
Территории индивидуальной жилой застройки	0,081	7,94
Автомобильные дороги и улицы	0,015	1,47
Водосборный бассейн (всего)	1,02	100

Постоянное избыточное поступление биогенного вещества в экосистему водоема приводит к активизации процесса его эвтрофирования. Подобное воздействие на водный объект можно оценить при помощи расчета биогенной нагрузки, под которой понимается количество биогенного вещества, поступившего в водоем за рассматриваемый интервал времени и пересчитанное на единицу площади акватории или объем водной массы [7]. Также анализ удельных показателей биогенной нагрузки позволяет установить особенности сельскохозяйственного производства в бассейне и биогенного загрязнения как всего водотока, так и отдельных его частей [8].

Расчет биогенной нагрузки на водоем необходим для её оценки и прогноза изменений в зависимости от климатических факторов. Например, современная биогенная нагрузка на Финский залив со стороны водосбора р. Луги составляет по фосфору 266,0 и по азоту 4141,1 т/год, что не превышает критических значений [8]. В то же время средняя годовая фосфорная нагрузка на Ижевское водохранилище составляет 0,6 т/год и приводит к увеличению численности сине-зеленых водорослей [9].

Одним из главных источников поступления в водоем биогенных веществ является сток с прилегающей территории водоема, объем которого возрастает при увеличении количества атмосферных осадков и зависит от особенностей территории водосбора.

Суммарная биогенная нагрузка на водоем состоит из рассредоточенной и точечной, но в пределах водосборного бассейна пруда Янтарного не осуществляется организованный сброс сточных вод. Следовательно, суммарный вынос биогенов с территории водосбора пруда Янтарного фактически представлен лишь рассредоточенной нагрузкой.

Существуют различные методики, позволяющие оценить биогенную нагрузку на водные объекты, которые учитывают разные факторы воздействия на водоем.

Согласно методике, предложенной Б.П. Власовой [10], суммарный вынос биогенов с водосборной площади водоема складывается в основном за счет вод атмосферного происхождения.

Объем стока, формирующегося за счет дождевых вод на фиксируемой площади водосбора, определяется по следующей формуле (1):

$$Qd = 2,5 \cdot F \cdot Hd \cdot K1 \cdot K2, \quad (1)$$

где Qd – годовой объем стока дождевых вод, м³/год;

2,5 – коэффициент, учитывающий размерность входящих величин, допустимое снижение общего коэффициента стока с учетом наличия сильных ливней и слабых дождей и величину общего стока при доле водонепроницаемых поверхностей 40 % от всей площади водосбора;

F – общая площадь рассматриваемой территории водосборного бассейна пруда, для Янтарного равна 102 га;

N_d – годовое количество жидких атмосферных осадков по данным ближайшей метеорологической станции; ближайшая к пруду Янтарному метеорологическая станция расположена в г. Пионерском, и годовое количество жидких осадков за 2018 г. на ней составило 678 мм [11];

K_1 – коэффициент, учитывающий объем дождевых сточных вод, направляемых в сети дождевой канализации и на очистные сооружения, для Калининградской области согласно Инструкции [12] равен 0,71;

K_2 – коэффициент водонепроницаемых поверхностей (кровли зданий, дороги, тротуары и другие площади с водонепроницаемым покрытием) в общей площади водосборного бассейна для водосборного бассейна пруда Янтарного равен 0,4 при 10 % непроницаемых поверхностей.

Таким образом, годовой объем дождевого стока для пруда Янтарного за 2018 год составил 49,1 тыс. м³/год.

Объем стока, формирующийся за счет твердых атмосферных осадков за холодный период года на фиксируемой площади водосбора, определяется по следующей формуле [10]:

$$QT = 8 \cdot F \cdot N_c, \quad (2)$$

где QT – годовой объем стока талых вод, м³/год;

8 – коэффициент, учитывающий размерность входящих величин и объем воды от таяния снега, который не поступает в дождевую сеть и на очистные сооружения (часть снега, вывозимого за пределы территории);

F – общая площадь рассматриваемой территории (102 га);

N_c – среднегодовое количество осадков весеннего половодья, для рассматриваемой местности составляет 140 мм.

Для пруда Янтарного годовой объем стока талых вод составил 114,2 м³/год.

Суммарный вынос азота/фосфора с селитебных территорий рассчитывается по следующей формуле (3):

$$M = (Q_d \cdot C_d / 1000) + (QT \cdot CT / 1000), \quad (3)$$

где M – масса азота/фосфора, поступающих в водоем, кг;

Q_d и QT – годовые объемы дождевого и талого стока, соответственно, с селитебной территории, м³;

C_d и CT – концентрации азота/фосфора в дождевых и талых сточных водах соответственно, согласно методике средняя концентрация фосфора в дождевых / талых сточных водах городов составляет 1,08 / 7,56 мг/дм³, азота – 4,9 / 34 мг/дм³.

Таким образом, суммарный вынос азота с водосборной площади пруда Янтарного в 2018 г. составил 4125 кг, фосфора – 91 кг.

При площади водосборного бассейна пруда Янтарного 102 га более половины территории приходится на земли лесного фонда, остальная площадь занята антропогенными объектами. Примерный суммарный объем вод, поступающих на территорию водосборного

бассейна, данного водоема составляет 163340 м³/год (из них 30% приходится на дождевой сток и 70% на сток талых вод).

Рассредоточенная нагрузка формируется за счет выноса веществ со всей площади водосбора; это эмиссия химических веществ из почв, смыв поверхностных загрязнений.

Расчет рассредоточенной нагрузки по методу С.А. Кондратьева и др. [13] дал результаты, заметно отличающиеся от полученных в ходе расчетов по методу Б.П. Власовой. Этот метод основан на математической модели, которая, помимо прочего, учитывает удержание химических веществ водосбором и гидрографической сетью.

Рассредоточенная нагрузка на водосбор, сформированная в результате эмиссии химических веществ со всей площади водосбора с различных типов подстилающей поверхности (естественных и антропогенных) в стекающие дождевые и талые воды Le , определяется по формуле [13]:

$$Le = \sum kei \cdot Ai , \quad (4)$$

где kei – коэффициент эмиссии вещества с i -го типа подстилающей поверхности;

Ai – площадь i -го типа подстилающей поверхности. Определение значений kei , зависящих от характеристик подстилающей поверхности, согласно методике расчета коэффициента эмиссии Робц и Нобц в стоке с различных типов подстилающей поверхности [12] для лесов составляет 26 и 300, для урбанизированных территорий - 57 и 800 по фосфору и азоту соответственно.

С учетом характеристик подстилающей поверхности (на лес приходится 0,577 км² территории водосборного бассейна и на урбанизированные территории - 0,433 км²) расчет рассредоточенной нагрузки на водосбор пруда Янтарного дал следующие результаты: по фосфору 39,7 и по азоту 527,5 кг/год.

Помимо нагрузки от территории водосборного бассейна на водоем влияют отдыхающие и купающиеся в нем люди. Расчет рекреационной нагрузки за 2018 г. показал, что за купальный сезон (61 день, благоприятный для пляжного отдыха) в воды пруда Янтарного дополнительно поступило приблизительно 12,5 кг фосфора и 134 кг азота. В среднем на 1 га водной поверхности приходилось около 70 отдыхающих, т. е. использование рекреационного потенциала водоема достигает 50 %.

Выполненные расчеты выноса биогенных элементов (азота и фосфора) с территории водосборного бассейна пруда Янтарного показали, что значения, полученные по двум разным методикам, сильно разнятся: по методике Б. П. Власовой суммарный вынос азота и фосфора с водосборной площади пруда в 2018 г. достигал 4124,7 и 916,7 кг соответственно, а рассредоточенная нагрузка на водосбор пруда Янтарного, рассчитанная согласно методу С. А. Кондратьева, дала в 2-10 раз меньшие результаты: 39,7 кг/год фосфора и 527,5 кг/год азота.

Именно фосфор чаще всего является лимитирующим фактором в развитии продуктивности водоемов. Избыточное поступление его соединений с водосбора приводит к резкому неконтролируемому приросту растительной биомассы водного объекта. Происходит так называемое изменение трофического статуса водоема, сопровождающееся перестройкой всего водного сообщества и ведущее к преобладанию гнилостных процессов [14].

Согласно модели Р. Фолленвайдера (1976 г.), допустимая нагрузка на водоем по величине поступающего фосфора может быть рассчитана по следующей формуле [8]:

$$L \text{ доп} = 0,015 \cdot z \cdot (1 + \sqrt{tn}) / tn, \quad (5)$$

где 0,015 – концентрация общего фосфора в воде, г/м³:

z – средняя глубина озера, в пруду Янтарном 18 м;

tn – время водообмена, для пруда Янтарного составляет 55 лет (так как водоем бессточный, а коэффициент фильтрации миоценовых песков, по данным геологического отчета [3], составляет $4,4 \text{ м}^3/\text{сут}$).

Исходя из приведенной формулы, допустимая фосфорная нагрузка на пруд Янтарный не может превышать $0,041 \text{ г}/\text{м}^2$ в год.

Принимая площадь пруда Янтарного равной $1,1 \text{ млн. м}^2$, получаем допустимую фосфорную нагрузку на пруд примерно $45 \text{ кг}/\text{год}$, что приблизительно на 13% больше, чем рассредоточенный вынос фосфора в пруд с территории водосбора, полученный по методу С.А. Кондратьева, но в то же время в 20 раз меньше суммарной фосфорной нагрузки, вычисленной согласно методу Б. П. Власовой.

Систематическое многократное превышение допустимой биогенной нагрузки на водоем неизбежно привело бы к его быстрому эвтрофированию и росту сапробности. Однако изучение фактического содержания соединений азота и фосфора, растворенных в водах пруда Янтарного, по данным ежемесячного гидрохимического мониторинга, проводимого автором, показывает, что в целом их концентрации обычно невелики и не превышают установленных нормативов для водных объектов рыбохозяйственного значения. В отдельные месяцы концентрации фосфора фосфатов сильно возрастают и превышают ПДК в три и более раз (март, июль). Сезонный ход концентрации фосфора нарушен. Обычно годовой максимум в умеренных широтах наблюдается в конце зимы [1]. В исследуемом водоеме пиковые значения приходятся на летний сезон, достигая $0,7 \text{ мгР}/\text{л}$, а к осени снижаются. Это связано с тем, что побережье водоема состоит из фосфорноносных пород, содержащих фосфаты, и после выпадения осадков происходит их смыв в воды пруда (рис. 3).

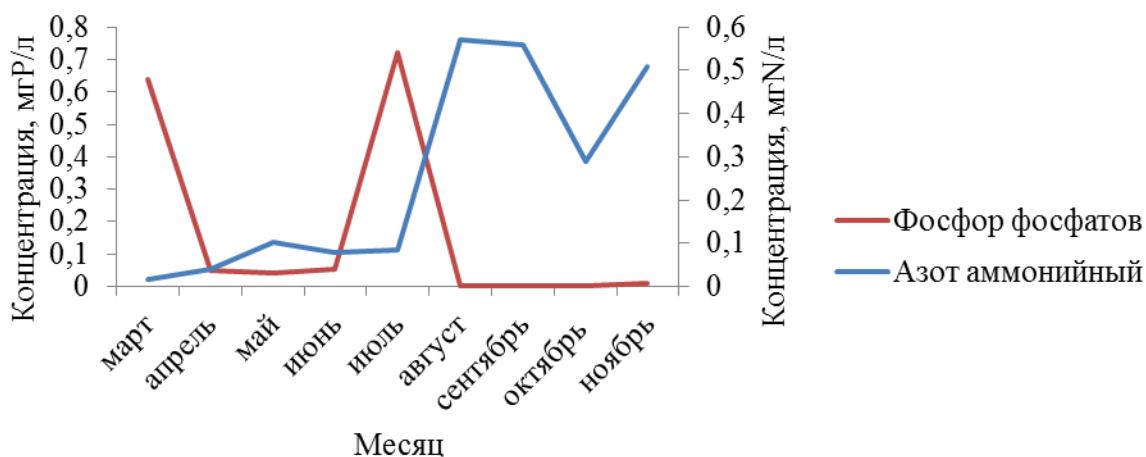


Рисунок 3 – Содержание азота аммонийного и фосфора фосфатов в водах пруда Янтарного, март-ноябрь 2018 г.

Для Калининградской области характерны интенсивные ливни в летний сезон, обусловленные усилением конвективно-грозовой деятельности. По данным архива погоды, июльская норма осадков пгт Янтарного составляет 73 мм , а в июле 2018 г. выпало 69 мм , 30 из которых в один день. Таким образом, средняя суточная интенсивность осадков в июле 2018 г. не превышала $2,3 \text{ мм}/\text{сут}$; но 19 июля она достигла $30 \text{ мм}/\text{сут}$, что и спровоцировало интенсивный размыв фосфорноносных пород и привело к резкому скачку концентрации фосфатов.

Содержание азота аммонийного возрастает к концу лета – началу осени, что, видимо, связано с началом регенерации азота из органических остатков в конце вегетационного периода. Весной и в начале лета концентрация азота аммонийного не превышает $0,1 \text{ мг}/\text{л}$.

На протяжении ряда лет качество вод в водоеме сохраняется стабильно высоким. Пруд Янтарный является олигосапробным, чистым. Оценка сапробности пруда выполнена на

основании ГОСТ 17.1. 2.04-77 по гидрохимическим показателям, полученным в ходе ежемесячного мониторинга.

Следовательно, в условиях Калининградской области для бессточного водоема в отсутствие точечных источников поступления сточных вод в него, результаты, получаемые при помощи метода С. А. Кондратьева, более точно характеризуют экологическую ситуацию. Кроме того, пруд Янтарный, вероятно, обладает довольно высокой способностью к самоочищению благодаря значительным глубинам и большому объему вод.

Таким образом, сопоставление разных методов расчета биогенной нагрузки на водоем от водосборной территории показало, что недостаточно просто учитывать количество твердых и жидких осадков, поступающих на территорию водосборного бассейна исследуемого водоема, поскольку это может привести к получению существенно завышенных значений выноса биогенных элементов. Акцент на характер подстилающей поверхности исследуемой территории позволяет принимать во внимание еще и удержание химических веществ. Анализ полученных результатов в сравнении с рассчитанной допустимой фосфорной нагрузкой выявил значительное завышение (в два и более раз) показателей, вычисленных по методу Б. П. Власовой. Тем не менее качество вод в пруду Янтарном в течение ряда лет остается на высоком уровне. Водоем олигосапробный, его экологическое состояние не вызывает опасений, что подтверждается данными ежемесячного гидрохимического мониторинга, проводимого автором с сентября 2015 г. по настоящее время, и было бы невозможно при систематическом превышении допустимой биогенной нагрузки. Следовательно, можно считать достаточно достоверным, что биогенная нагрузка на водосбор пруда Янтарного в среднем ежегодно составляет около 40 кг фосфора и более 520 кг азота, к которым еще более 10 кг фосфора и 130 кг азота добавляет рекреационная нагрузка от отдыхающих на водоеме в течение купального сезона. Даже с учетом бессточности и замедленного водообмена это не выходит за рамки допустимой фосфорной нагрузки, рассчитанной на основании модели Фолленвайдера. Вместе с тем особенности пруда Янтарного как бывшего карьера по добыче янтаря и, как следствие, нарушение водоносных горизонтов в пределах его водосборного бассейна, а также близкое залегание фосфорноносных пород (сопутствующих янтароносным) [3], специфический режим атмосферных осадков в теплое время года создают необходимость разработки для подобных водоемов карьерного типа иного комплексного метода расчета биогенной нагрузки, учитывающего перечисленные факторы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Берникова, Т. А. Гидрология с основами метеорологии и климатологии / Т. А. Берникова. – Москва: МОРКНИГА, 2011. – 590 с.
2. Государственный доклад об экологической обстановке в Калининградской области в 2017 году [Электронный ресурс] URL: <http://minprirody.gov39.ru> (дата обращения: 21.07.2019).
3. Ласберг, И. К. Отчет о комплексной геолого-гидрогеологической съемке масштаба 1:50000, проведенной в пределах Калининградского полуострова в 1962-64 годах / И. К. Ласберг. – Гусев, 1965. – 17 с.
4. Лучникова, В. В. Янтарный – Пальмникен: Исторический путеводитель / В. В. Лучникова. – Калининград: Живем, 2016. – 54 с.
5. Цупикова, Н. А. Оценка возможности организации рыбоводного хозяйства на базе пруда Янтарный (Калининградская область) / Н. А. Цупикова, В. В. Моисеенко // Экономика: экономика и сельское хозяйство. – 2017. – № 7 (19). URL: <http://aeconomy.ru/science/agro/otsenka-vozmozhnosti-organizatsii-r/> (дата обращения: 10.07.2019).
6. Генеральный план МО «Янтарный городской округ» (основной чертеж) [Электронный ресурс] URL: https://gov39.ru/vlast/agency/aggradostroenie/zip/territory/yantarnyy-go/yant_go_kart_002.jpg (дата обращения: 07.07.2019).

7. Моделирование биогенной нагрузки на водные объекты / С. А. Кондратьев [и др.] // Ученые записки российского государственного гидрометеорологического университета. - № 35. – 2014. – 177 с.
8. Эвтрофикация: источники биогенной нагрузки. Программы мониторинга ХЕЛКОМ / проф. Тарбаева Вероника Михайловна. - Невско-Ладожское БВУ: СПб, 2009. – 11 с.
9. Биологические и химические эффекты антропогенного эвтрофирования Ижевского водохранилища: моногр. / под ред. Б. Г. Котегова. - Ижевск: Изд-во Удмуртского университета, 2013. - 177 с.
10. Геоэкологическая оценка природно-ресурсного потенциала антропогенно-нарушенных озерных бассейнов: метод. рекомендации / Б. П. Власов [и др.]. - Минск: Изд-во БГУ, 2015. – 44 с.
11. Метеорологическая обстановка по Калининградской области [Электронный ресурс] URL: <http://meteo39.ru/gidro/meteorologiya.html> (дата обращения: 20.07.2019).
12. Постановление Министерства жилищно-коммунального хозяйства РБ. Об утверждении Инструкции по расчету объемов поверхностных вод, поступающих в коммунальные сети дождевой канализации и сооружений для их очистки, с застроенных территорий поселений Республики Беларусь: утв. М-вом жил.-ком. хоз-ва Респ. Беларусь 25.02.2002 г. - Минск, 2002. - 9 с.
13. Метод расчета внешней нагрузки на Чудско-Псковское озеро с Российской территории водосбора / С. А. Кондратьев [и др.] // Общество. Среда. Развитие. № 1. – 2010. – С. 183 -197.
14. Логинова Е. В. Гидроэкология: курс лекций / Е. В. Логинова, П. С. Лопух. – Минск: Изд-во БГУ, 2011. – 300 с.

STUDY OF EXTERNAL ENVIRONMENTAL LOAD ON THE YANTARNY POND (KALININGRAD REGION) IN 2018

V.V. Moiseenko, student, moiseenko09@yandex.ru
N.A. Tsoupikova, Assistant Professor, tsoupikova@klgtu.ru
Kaliningrad State Technical University

The paper provides an assessment of the impact of the waters flowing from the catchment area to the Yantarny pond which is a former amber extraction pit filled up with water and located in the urban village of Yantarny. The authors calculated the area of functional zones and defined the amount of rain, melt and road washwaters flowing from the catchment into the pond. The diffused and recreational loads for total nitrogen and total phosphorus are calculated. The results obtained are compared with the expected permissible load of phosphorus entering the water body. The current environmental condition of the reservoir was estimated based on hydrochemical monitoring.

Yantarny pond, nutrient load, environmental condition