



<http://ecopri.ru>

<http://petsu.ru>

**Издатель**

ФГБОУ ВО «Петрозаводский государственный университет»  
Российская Федерация, г. Петрозаводск, пр. Ленина, 33

Научный электронный журнал

**ПРИНЦИПЫ ЭКОЛОГИИ**

<http://ecopri.ru>

**Т. 11. № 3(45). Сентябрь, 2022**

**Главный редактор**

А. В. Коросов

**Редакционный совет**

В. Н. Большаков  
А. В. Воронин  
Э. В. Ивантер  
Н. Н. Немова  
Г. С. Розенберг  
А. Ф. Титов

**Редакционная коллегия**

Г. С. Антипина  
В. В. Вапиров  
А. Е. Веселов  
Т. О. Волкова  
Е. П. Иешко  
В. А. Илюха  
Н. М. Калинкина  
J. P. Kurhinen  
А. М. Макаров  
А. Ю. Мейгал  
J. B. Jakovlev

**Службы поддержки**

А. Г. Марахтанов  
Е. В. Голубев  
С. Л. Смирнова  
Н. Д. Чернышева  
М. Л. Киреева

**ISSN 2304-6465**

**Адрес редакции**

185910, Республика Карелия, г. Петрозаводск, ул. Анохина, 20. Каб. 208.

E-mail: [ecopri@psu.karelia.ru](mailto:ecopri@psu.karelia.ru)

<http://ecopri.ru>





УДК 504.05, 504.06

## Оценка поступления загрязняющих веществ в Угличское водохранилище с поверхностным стоком с прибрежной территории

**ЛАЗАРЕВА**

**Галина Александровна**

*к. б. н., Государственный университет «Дубна»,  
lazarevg@mail.ru*

**ШАХОВА**

**Наталья**

**Александровна  
АНИСИМОВА**

**Ольга Витальевна**

*ФГБУ «Центррегионводхоз» Дубнинская  
экоаналитическая лаборатория, lazarevg@mail.ru*

*к. г.-м. н., Государственный университет «Дубна»,  
ol\_anisimova@mail.ru*

### Ключевые слова:

диффузное загрязнение  
гидрохимические показатели  
объем поступления загрязняющих  
веществ  
поверхностный сток  
Угличское водохранилище

### Аннотация:

С целью изучения поступления загрязняющих веществ в водные объекты с поверхностным стоком и поиска математических методов его расчета был предложен алгоритм исследования, согласно которому на первом этапе производится расчет объемов поверхностного стока и массы удельного выноса загрязняющих веществ с прибрежной территории (шириной 200 м), расположенной в районе изучаемого створа (с учетом характера подстилающей поверхности, климатических характеристик и др.); на втором этапе проводится химический анализ вод по приоритетным гидрохимическим показателям; на третьем – анализируются и сравниваются расчетные (с учетом разбавления реки) и фактические данные по приоритетным показателям. Алгоритм был применен при исследовании верхних створов Угличского водохранилища в районе г. Дубна и г. Кимры (д. Абрамово). В оценке вклада поверхностного стока с селитбных территорий использовались только приоритетные показатели: взвешенные вещества, нефтепродукты, ХПК. Данные химического анализа вод водохранилища были усреднены за 4 года наблюдения. Результаты, полученные расчетным методом, сравнены с фактическими данными лабораторного химического анализа вод. Произведена оценка массы годового поступления загрязняющих веществ с поверхностным стоком с прибрежной территории. Показано, что сток с исследованных прибрежных территорий не единственный источник загрязнения в районе изученных створов. Учитывая характер застройки (преобладание индивидуальной жилой застройки без централизованной системы канализации, с выгребными ямами и септиками), существенный вклад в загрязнение вод может быть обусловлен неорганизованным стоком хозяйственно-бытовых вод, а также привнесением загрязняющих веществ притоками – водоотводными канавами, р. Кимрка и др.

© 2022 Петрозаводский государственный университет

## **Введение**

Для сохранения качества поверхностных вод, предотвращения дефицита чистой воды представляется важным проводить оценку объемов поступления загрязняющих веществ от неорганизованных, рассредоточенных, площадных (диффузных) источников, расположенных в непосредственной близости от водных объектов, в их прибрежной зоне. Такая оценка может способствовать более точному выбору водоохранных мероприятий, проводимых с целью минимизации загрязнения и ликвидации отрицательного антропогенного воздействия на водные объекты.

Диффузное загрязнение, формирующееся на водосборной территории, особенно значительно в сельскохозяйственных районах (его компонентами чаще всего являются вымываемые с полей удобрения, ядохимикаты и другие продукты эрозии), а величина загрязнения во многом зависит от величины стока с водосбора, особенно поверхностного со склонов (Коронкевич, Долгов, 2017). Одним из мощных источников диффузного загрязнения водных объектов стала массовая застройка берегов в непосредственной близости от уреза воды, особенно в пределах водоохранных зон и прибрежных защитных полос (Ясинский и др., 2019). Характерная для урбанизированных территорий повышенная антропогенная нагрузка приводит к увеличению в поверхностном стоке концентраций веществ как природного, так и техногенного происхождения. Качественный и количественный состав вод с таких территорий зависит от многих параметров. К таковым можно отнести: загрязненность атмосферы, наличие строительных площадок и промышленных предприятий, интенсивность транспортного движения, санитарное состояние водосборных площадей, степень благоустройства территории, плотность населения, вид поверхностного покрова, метеорологические параметры (интенсивность и продолжительность дождей, продолжительность сухой погоды предшествующего периода, интенсивность весеннего снеготаяния).

Попадающие в водоемы и водотоки дождевые и талые воды с урбанизированных территорий могут представлять значительную опасность загрязнения водных объектов различными примесями природного и техногенного происхождения. Основными загрязняющими веществами, выносимыми с поверхностным стоком с селитебных территорий, являются: бытовой мусор (листья, ветки, бумажные и пластмассовые упаковки, пробки, тряпье и пр.), продукты эрозии почвы, биогенные вещества (соединения азота, фосфора, углерода), пыль, вымываемые компоненты дорожных покрытий и строительных материалов, нефтепродукты (проливы автомасел и топлива), соли (в основном хлориды, применяемые в зимний период для борьбы с гололедом), микробиологическое загрязнение (Лазарева и др., 2020). В качестве приоритетных показателей можно выделить содержание взвешенных веществ, нефтепродуктов и значение ХПК (мера содержания органического вещества).

При моделировании стока загрязняющих веществ с водосбора необходимо использовать пространственно распределенные параметры территории, для этих целей используются ГИС как инструмент выделения в изучаемых гидрологических системах частных водосборов и однотипных в природном и хозяйственном отношении участков (Яковченко, Михайлов, 2000).

Цель работы – оценка объемов годового поступления загрязняющих веществ с поверхностным стоком с прибрежных территорий в районе двух створов Угличского водохранилища, расположенных у г. Дубна и г. Кимры, с применением расчетного метода.

## **Материалы**

Оценка объемов поступления загрязняющих веществ с поверхностным стоком с прибрежных территорий проводилась для двух верхних створов Угличского водохранилища, расположенных в районе г. Дубна (створ 1) и г. Кимры (створ 2) (рис. 1).

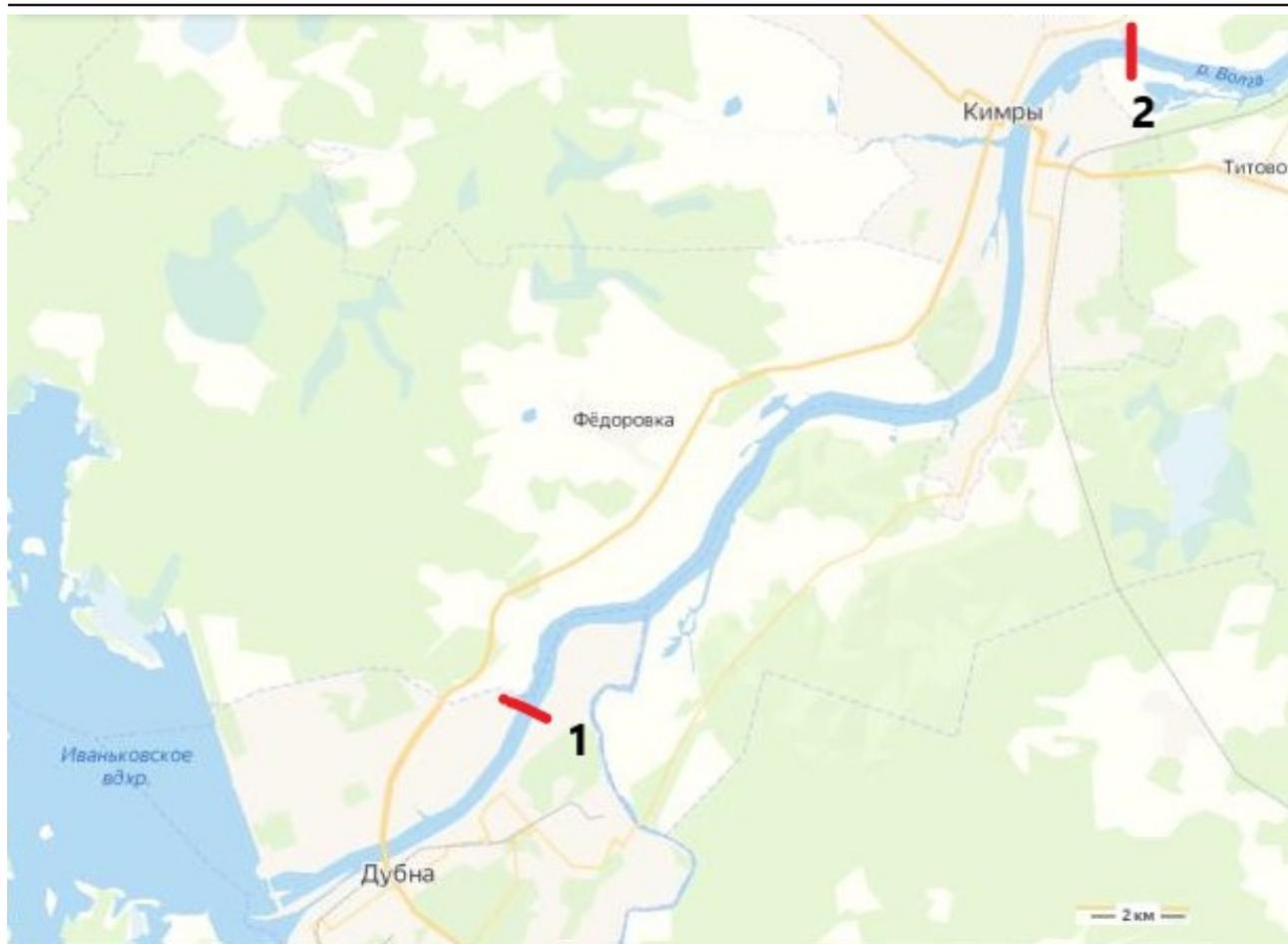


Рис. 1. Карта-схема станций отбора проб: створ 1 – г. Дубна, Северная канава; створ 2 – д. Абрамово, ниже г. Кимры

Fig. 1. Schematic map of sampling stations: station 1 – Dubna, Severnaya Kanava; station 2 – Abramovo village, below Kimry

Угличское водохранилище расположено в пределах Московской, Тверской и Ярославской областей. Это водохранилище руслового (речного) типа. На берегах водоема расположены города Дубна, Кимры, Калязин, Углич, пгт Белый Городок, ряд деревень и поселков. Площадь водохранилища составляет 24.9 тыс. га, длина – 143 км, средняя ширина – 2.2 км, максимальная – 5 км, средняя глубина – 5.0 м. Мелководья с глубинами менее 5 м занимают около 36 % общей площади.

Со стоком Волги в Угличское водохранилище поступает около 71 % от общего поступления воды, на долю боковых притоков приходится около 29 % от общего поверхностного притока воды (Григорьева, 2020).

Среднегодовое число осадков по району исследования составляет 550–750 мм. Максимальные значения количества осадков приходятся на июнь – июль (до 80–90 мм). Снежный покров устанавливается в самом конце ноября и держится до середины марта, достигая мощности 40–60 см (СП 131.13330.2018).

Площадь территории г. Дубна и г. Кимры составляет 7044 и 4400 га, численность населения на 2021 г.: 74499 и 42301 человек соответственно (Численность..., 2021).

## Методы

Для реализации поставленной цели был разработан и применен алгоритм, предполагающий три этапа.

На первом этапе производился расчет объемов поверхностного стока и массы удельного выноса загрязняющих веществ с прибрежной территории, расположенной в районе изучаемого створа, учитывая характер подстилающей поверхности, климатические и гидрологические характеристики в районе исследуемых створов.

На первом этапе проводился:

- Анализ космических снимков исследуемой территории и определение площадей объектов в пределах полосы шириной 200 м от береговой линии (соответствует водоохранной зоне водохранилища) и длиной около 1 км (выше по течению от исследуемых створов).
- Расчет среднегодового стока (м<sup>3</sup>/год) дождевых и талых вод согласно положениям «Методических указаний по расчету объемов принятых (отведенных) поверхностных сточных вод» (Методические указания..., 2014), а также «Методики разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей» (Методика..., 2020). Учитывались такие параметры, как среднегодовое количество осадков в виде дождя, запас воды в снежном покрове к началу снеготаяния, коэффициент, характеризующий поверхность водосбора, коэффициент стока для снежного покрова.
- Расчет разбавления поверхностного стока с прилегающей территории массой вод водного объекта с применением коэффициента общего разбавления вод по методу В. А. Фролова – И. Д. Родзиллера и начального разбавления по методу Н. Н. Лапшева (Методика..., 2020).

На втором этапе – химический анализ вод водохранилища по приоритетным показателям (взвешенные вещества, нефтепродукты, ХПК).

На третьем этапе:

- Сравнение фактических данных содержания приоритетных показателей в пробах воды исследуемых створов и расчетных значений, полученных для данных створов с учетом разбавления реки.
- Оценка массы годового поступления веществ с поверхностным стоком.

Химический анализ проб воды в изучаемых створах водохранилища проводился на базе ФГБУ «Центррегионводхоз» Дубнинской экоаналитической лаборатории (ДЭАЛ) по 22 показателям (Шахова и др., 2019; Лазарева, 2016а). В оценке вклада поверхностного стока с селитебных территорий использовались только приоритетные показатели: взвешенные вещества, нефтепродукты, ХПК.

Для расчета объема среднегодового поверхностного стока и определения объема загрязняющих веществ, поступающих в водоем с прилегающей территории, необходимо было определить площади участков, занятых различными объектами – одноэтажной жилой застройкой, зелеными насаждениями (растительность), дорогами и т. д. Для этого было проведено дешифрирование космических снимков исследуемой территории и определение площадей объектов при помощи программы MapInfo (Лазарева и др., 2020).

Расчет объема среднегодового поверхностного стока в районе изучаемых створов производился для прибрежной территории, ширина которой соответствовала ширине водоохранной зоны водохранилища (200 м от береговой линии), длина составляла около 1 км (выше по течению от исследуемых створов).

Вынос загрязняющих веществ притоками не учитывался (на исследуемых участках к таким водотокам относятся Северная и Южная водоотводные канавы – в районе створа г. Дубна (Лазарева, Панина, 2016б), р. Кимрка – в районе створа в г. Кимры (д. Абрамово)).

При выполнении расчетов объема среднегодового поверхностного стока руководствовались положениями «Методических указаний по расчету объемов принятых (отведенных) поверхностных сточных вод» (Методические указания..., 2014), а также «Методикой разработки нормативов допустимых сбросов веществ и микроорганизмов в водные объекты для водопользователей» (Методика разработки..., 2020). Показатели, характеризующие примерный состав поверхностного стока для различных участков водосборных поверхностей территорий, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Примерный состав поверхностного стока для различных участков водосборных поверхностей (Методические указания..., 2014)

Площадь стока	Показатели загрязнения, мг/дм <sup>3</sup>					
	дождевой сток			талый сток		
	взвеш. в ещества	ХПК	нефтепродукты	взвеш. в ещества	ХПК	нефтепродукты
Участки селитебной территории с высоким уровнем благоустройства и регулярной механизированной уборкой дорожных покрытий	400	300	8	2000	700	20
Современная жилая застройка	650	480	12	2500	1000	20
Магистральные улицы с интенсивным	1000	610	20	3000	1200	25

движением транспорта						
Территории, прилегающие к промышленным предприятиям	2000	650	18	4000	1500	25
Кровли зданий и сооружений	< 20	< 80	0.01-0.70	< 20	< 100	0.01-0.70
Территории с преобладанием индивидуальной жилой застройки; газоны и зеленые насаждения	300	400	< 1	1500	1000	< 1

## Результаты

Прибрежные территории в районе исследуемых створов расположены на участках с различными природно-антропогенными условиями. Так, в районе створа г. Дубна преобладают неэксплуатируемые земли, покрытые травянистой растительностью, жилая застройка отсутствует. В районе створа г. Кимры преобладает индивидуальная жилая застройка (без подключения к централизованной системе канализации).

На рис. 2 и 3 приведены результаты обработки космических снимков районов исследуемых створов водохранилища в пределах прибрежной территории – полосы шириной 200 м (водоохранной зоны).

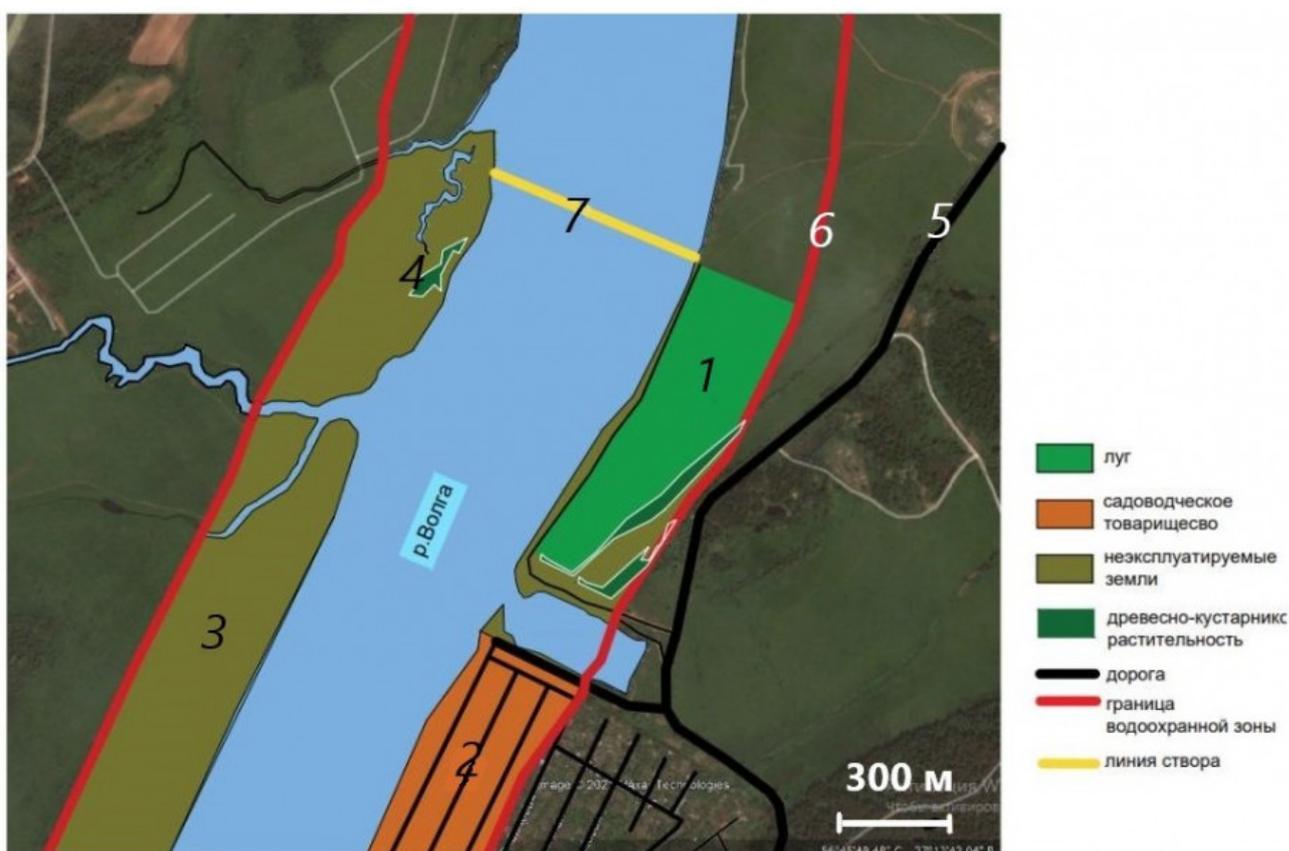


Рис. 2. Природно-техногенные объекты в районе створа № 1 (г. Дубна): 1 – луг, 2 – садоводческое товарищество, 3 – неэксплуатируемые земли, 4 – древесно-кустарниковая растительность, 5 – дорога, 6 – граница водоохранной зоны, 7 – линия створа

Fig. 2. Natural and man-made objects in the area of the station No 1 (Dubna): 1 – grassland, 2 – horticultural association, 3 – unused land, 4 – tree and shrub vegetation, 5 – road, 6 – border of the water protection zone, 7 – station line

В районе створа г. Дубна были выделены следующие объекты: луг, неэксплуатируемые земли (неиспользуемые земли), древесно-кустарниковая растительность, садовое товарищество «Мичуринец», дороги (см. рис. 2). Около 43 % площади относится к территориям, являющимся потенциальным источником таких загрязняющих веществ, как органические вещества, соединения азота, фосфора, а также нефтепродуктов.

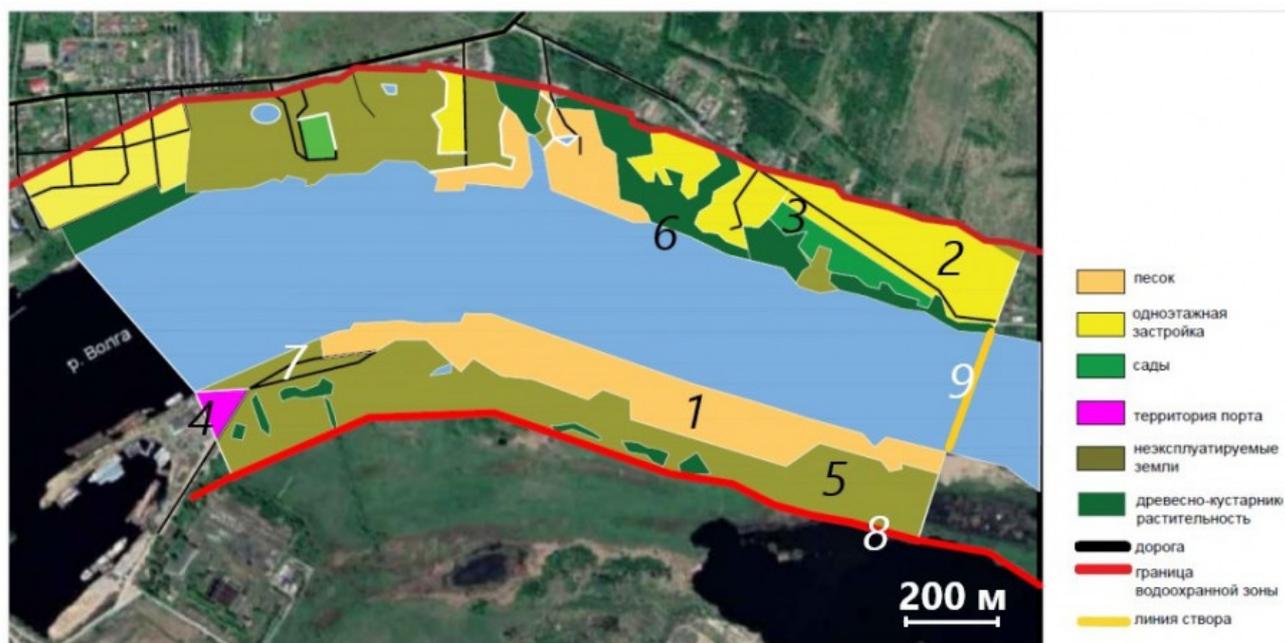


Рис. 3. Природно-техногенные объекты в район створа № 2 (г. Кимры): 1 – песок, 2 – одноэтажная застройка, 3 – сады, 4 – территория порта, 5 – неэксплуатируемые земли, 6 – древесно-кустарниковая растительность, 7 – дорога, 8 – граница водоохранной зоны, 9 – линия створа

Fig. 3. Natural and man-made objects in the area of the station No 2 (Kimry): 1 – sand, 2 – one-storey buildings, 3 – gardens, 4 – port territory, 5 – unused land, 6 – tree and shrub vegetation, 7 – road, 8 – border of the water protection zone, 9 – station line

В районе створа №2, г. Кимры (см. рис. 3), были выделены следующие объекты: одноэтажная жилая застройка, древесно-кустарниковая растительность, неэксплуатируемые земли, песчаный берег, промышленная зона (территория порта), дороги. Результаты расчетов площадей (табл. 2) показали, что около 60 % исследованной территории является потенциальным источником таких загрязняющих веществ, как взвешенные вещества, органические вещества, минеральные соли, нефтепродукты.

Таблица 2. Площади формирования поверхностного стока с прибрежной полосы в районе исследуемых створов

Площадь стока	Площадь формирования дождевого стока	Створ в р-не г. Дубна, м <sup>2</sup> (га)	Створ в р-не г. Кимры, м <sup>2</sup> (га)
Территории с преобладанием индивидуальной жилой застройки; газоны и зеленые насаждения	Одноэтажная жилая застройка	-	95346.0 (9.53)
	Древесно-кустарниковая растительность	12530.0 (1.25)	70063.0 (7.01)
	Садовое товарищество, сады	83530.0 (8.35)	24103.0 (2.41)
	Луг	93112.0 (9.31)	-
	Неэксплуатируемые земли	314363.0 (31.44)	236360.0 (23.64)
	Песок (песчаный берег)	-	158543.0 (15.85)
Итого	503535.0 (50.35)	760190.0 (76.01)	
Магистральные улицы с интенсивным движением транспорта	Дороги	7389.0 (0.74)	8334.0 (0.83)
Общая площадь исследуемой территории (в пределах водоохранной зоны)		510924.0 (51.09)	589824.0 (58.98)

Для определения количества ЗВ, выносимых с исследованной территории, проводили расчет среднегодового стока (м<sup>3</sup>/год) дождевых и талых вод. При этом учитывались такие параметры, как среднегодовое количество осадков в виде дождя (Н<sub>д</sub>), запас воды в снежном покрове к началу снеготаяния (Н<sub>т</sub>), коэффициент, характеризующий поверхность водосбора (Х<sub>д</sub>, для асфальто-бетонные покрытия – 0.8, грунтовых покрытий – 0.2, газонов и зеленых насаждений – 0.1), коэффициент стока для снежного покрова (Х<sub>т</sub> = 0.7).

Объем среднегодового дождевого стока (Q<sub>д</sub>, м<sup>3</sup>/год) и талого стока (Q<sub>т</sub>, м<sup>3</sup>/год) рассчитывали по

формулам:

$$Q_d = 10 * N_d * S * X_d.$$

$$Q_t = 10 * N_t * S * X_t.$$

Объем среднечасового дождевого стока ( $q_{д. час}$ , м<sup>3</sup>/час) и талого стока ( $q_{т. час}$ , м<sup>3</sup>/час) рассчитывали по формулам:

$$q_{д. час.} = Q_d / N / n.$$

$$q_{т. час.} = Q_t / N / n.$$

При расчете среднечасового дождевого стока учитывается количество дождливых дней ( $N_d$ , дней) и средняя продолжительность одного дождя ( $n_d$ , часов). При расчете среднечасового талого стока учитывается период снеготаяния ( $N_t$ , дней) и суточная продолжительность снеготаяния ( $n_t$ , часов). Результаты расчета среднегодового стока (м<sup>3</sup>/год) представлены в табл. 3.

Таблица 3. Среднегодовой поверхностный сток вод с прибрежной территории (м<sup>3</sup> в год / м<sup>3</sup> в час)

Сток	Створ в р-не г. Дубна			Створ в р-не г. Кимры		
	Территории с преобладанием индивидуальной жилой застройки; газоны и зеленые насаждения	Магистральные улицы с интенсивным движением транспорта	Вся площадь	Территории с преобладанием индивидуальной жилой застройки; газоны и зеленые насаждения	Магистральные улицы с интенсивным движением транспорта	Вся площадь
$Q_{дожд.}$						

# Assessment of the inflow of pollutants into the Uglich reservoir with surface runoff from the coastal territory

**LAZAREVA**  
**Galina**

*PhD, Dubna State University, lazarevg@mail.ru*

**SHAKHOVA**  
**Natalia**

*Dubna Ecoanalytic Laboratory, lazarevg@mail.ru*

**ANISIMOVA**  
**Olga**

*PhD, Dubna State University, ol\_anisimova@mail.ru*

## Keywords:

diffuse pollution  
hydrochemical indicators  
volume of pollutants intake  
surface runoff  
Uglich reservoir

## Summary:

In order to study the inflow of pollutants into water bodies with surface runoff and search for mathematical methods for calculating it, a research algorithm was proposed. According to it, at the first stage, the calculation of the volume of surface runoff and the mass of specific removal of pollutants from the coastal territory (200 m wide) located in the area of the studied station (taking into account the nature of the underlying surface, climatic characteristics, etc.). At the second stage, a chemical analysis of waters is carried out according to priority hydrochemical indicators. At the third stage, calculated data on priority indicators (taking into account the dilution of the river) and actual ones are analyzed and compared. The algorithm was applied in the study of the upper stations of the Uglich reservoir in the area of Dubna and Kimry (Abramovo village). In assessing the contribution of surface runoff from residential areas, only priority indicators were used: suspended solids, petroleum products, chemical oxygen consumption. The data of chemical analysis of reservoir waters were averaged over 4 years of observation. The results obtained by the calculation method are compared with the actual data of laboratory chemical analysis of waters. The mass of the annual intake of pollutants with surface runoff from the coastal territory was estimated. It was shown that runoff from the studied coastal territories was not the only source of pollution in the area of the studied stations. Considering the nature of the development (the predominance of individual residential development without a centralized sewerage system, with cesspools and septic tanks), a significant contribution to water pollution may be due to unorganized runoff of household water, as well as the introduction of pollutants by tributaries - drainage ditches, the Kimrka River, etc.

## References

A set of rules. Construction climatology. URL:  
<https://docs.cntd.ru/document/554820821?ysclid=l6yo16s7li797923061> (data obrascheniya: 18.08.2022).

Grigor'eva I. L. Regularities and factors of formation of the winter hydrochemical regime of the Uglich reservoir, Vodnoe hozyaystvo Rossii. 2020. No. 2. P. 52–64. DOI: 10.35567/1999-4508-2020-2-4.

Koronkevich N. I. Dolgov S. V. Runoff from the catchment area as a source of diffuse pollution of rivers, Voda i ekologiya: problemy i resheniya. 2017. No. 4 (72). P. 103–110. DOI: 10.23968/2305-3488.2017.22.4.103-110.

Lazareva G. A. Novikova P. V. Kovaleva O. I. Assessment of the inflow of pollutants from surface runoff into the

Shlinsky reservoir, *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal (International research journal)*. 2020. No. 12 (102). Ch. 2. Dekabr'. P. 74–77. DOI: 10.23670/IRJ.2020.102.12.047.

Lazareva G. A. Panina E. V. Ecological condition of artificial water bodies (on the example of the Northern and Southern drainage ditches of Dubna), *Vestnik MGOU. Seriya: Estestvennyye nauki*. 2016b. No. 1. P. 70–77. DOI: 10.18384/2310-7189-2016-1-70-77.

Lazareva G. A. Assessment of water quality of the Uglich reservoir by integral hydrochemical indicators, *Vestnik MGOU. Seriya: Estestvennyye nauki*. 2016a. No. 2. P. 156–162. DOI: 10.18384/2310-7189-2016-2-158-164.

Methodological guidelines for calculating the volumes of received (diverted) surface wastewater. Utverzhdeny prikazom Ministerstva stroitel'stva i zhilishno-kommunal'nogo hozyaystva RF ot 17 oktyabrya 2014 goda No. 639/pr. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=246883&ysclid=l6y41fcbdj223679635> (data obrascheniya: 18.08.2022).

Methodology for the development of standards for permissible discharges of pollutants into water bodies for water users. Utverzhdena prikazom MPR Rossii ot 29 dekabrya 2020 goda No. 1118. URL: <https://docs.cntd.ru/document/573275596#6520IM> (data obrascheniya: 18.08.2022).

Shahova N. A. Lazareva G. A. Kovaleva O. I. The impact of anthropogenic activity on the Uglich water reservoir, *Aktual'nye problemy ekologii: teoriya, praktika, obrazovanie: Materialy nauchno-prakticheskoy konferencii, provedennoy v ramkah mezhhregional'nogo molodezhnogo ekologicheskogo foruma «Ekorenovaciya-2018» (Vladimir, 28–30 noyabrya 2018. g.)*. Vladimir: VIGU, 2019. P. 108–115.

The number of permanent population of the Russian Federation by municipalities as of January 1, 2021, *Sayt Federal'noy sluzhby gosudarstvennoy statistiki (ROSSTAT)*: URL: [https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/mun\\_obr2021.rar](https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/mun_obr2021.rar) (data obrascheniya: 18.08.2022).

Yakovchenko S. G. Mihaylov S. A. Application of GIS to assess the load on a water body from non-point sources, *Geoinformatika-2000: Trudy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferencii, Pod red. A. I. Ryumkina, Yu. L. Kostyuka, A. V. Skvorcova*. Tomsk: Izd-vo Tomskogo un-ta, 2000. C. 195–199.

Yasinskiy S. V. Venicianov E. V. Vishnevskaya I. A. Diffuse pollution of waterbodies and assessment of nutrient removal under different land-use scenarios in a catchment area, *Vodnye resursy*. 2019. T. 46, No. 2. C. 232–244. DOI: 10.31857/S0321-0596462232-244.