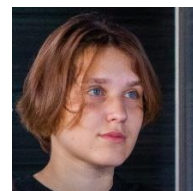


## Состояние притоков реки Трубеж: комплексное исследование с применением дистанционного зондирования и полевых методов

**В.Д. Дадайкина<sup>1\*</sup>, Е.Д. Лошкова<sup>1</sup>,  
В.А. Ермоленков<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Московский государственный университет  
геодезии и картографии, Москва, Россия

[\\*dadaikinav@gmail.com](mailto:*dadaikinav@gmail.com)



**Ключевые слова** дистанционное зондирование, гидрологический мониторинг, река Трубеж, экологическое состояние, водосборный бассейн, озеро Плещеево, геоинформационные технологии

**Аннотация** Представлены результаты комплексного исследования состояния притоков реки Трубеж – рек Ветлянка, Кипс, Мурмиш и Воргуша, выполненного в рамках проекта «Интеллектуальный хранитель наследия «Плещеево озеро». Исследование включало анализ космических снимков для предварительной оценки изменений водной поверхности и последующее обследование наиболее проблемных участков. Выявлены основные факторы антропогенного воздействия на притоки: заиливание русел, загрязнение от очистных сооружений, нарушение прибрежных защитных полос. Гидрохимический анализ показал превышение предельно допустимых концентраций фосфатов и ионов аммония на реке Ветлянка.

### 1 Введение

Водные ресурсы представляют собой основу устойчивого функционирования экосистем и жизнедеятельности человека. Водопотребление в России сравнительно невелико, однако огромное число рек и водоёмов в результате хозяйственной деятельности загрязнено. В этой связи чрезвычайно важно правильно оценить имеющиеся водные ресурсы и степень их изменения [1], особенно в Центральной Европейской части России, на которую приходится наибольшая плотность населения страны. Эти изменения обусловлены как климатическими флуктуациями, так и антропогенными факторами [2].

В современных условиях возрастающего антропогенного воздействия особую актуальность приобретает мониторинг состояния малых рек и их притоков, которые являются наиболее уязвимыми компонентами гидрографической сети. Река Трубеж и её притоки образуют основную речную систему бассейна Плещеева озера, расположенного в Ярославской области Российской Федерации. На реке Трубеж, как и на большинстве рек нашей страны, 60–70% годового стока проходит в сравнительно кратковременное весеннее половодье, в то время как наибольшая потребность в воде приходится на меженный, особенно летне-осенний период, когда реки имеют преимущественно подземное питание [2].

За последние два десятилетия интенсивное развитие технологий дистанционного зондирования Земли открыло новые возможности для эффективного мониторинга водных объектов. Применение методов спутниковой съёмки позволяет оперативно оценивать динамику изменений водной поверхности на обширных территориях, выявлять проблемные участки и планировать целенаправленные полевые исследования.

Водосборный бассейн озера Плещеево характеризуется сложной гидрологической структурой, в которой доминирующую роль играет речная система Трубежа. Согласно данным Национального парка «Плещеево озеро», на долю Трубежа и его притоков приходится 72% площади водосбора и около 84% годового поверхностного стока воды в озеро.

В исследованиях 2002 года<sup>1</sup> упоминается о потерях поверхностного стока со всей водосборной площади р. Трубеж. Происходит это за счет того, что притоки первого порядка – реки Ветлянка, Мурмиш, Кипс и другие – заилены, заросли водной растительностью, завалены ветками и стволами деревьев, забросаны бытовым мусором. На них устроены отводные каналы и плотины. В результате часть стока расходуется на фильтрацию и испарение.

Целью настоящего исследования является комплексная оценка современного экологического состояния притоков реки Трубеж с использованием методов дистанционного зондирования (ДЗЗ) и полевых наблюдений для разработки научно обоснованных рекомендаций по сохранению и восстановлению водных ресурсов региона.

---

<sup>1</sup> Отчет о результатах работ по теме: «Геологическое обоснование реконструкции дренажной сети для восстановления естественного стока Берендеевского болота в Переславском муниципальном округе». – Государственное геологическое предприятие «Центргеология», филиал «Экогеокомплекс», Министерство природных ресурсов Российской Федерации, Департамент природных ресурсов по Центральному региону. – Переславль, 2002, 33 с.

## 2 Материалы и методы

Исследование выполнено в рамках проекта «Интеллектуальный хранитель наследия «Плещеево озеро» и включало два основных этапа: анализ данных ДЗЗ в программе QGIS и полевое обследование притоков реки Трубеж.

### 2.1 Дистанционное зондирование

На первом этапе проводился анализ космических снимков со спутников Landsat-1 и Sentinel-2A исследуемой территории водосборного бассейна озера Плещеево с целью оценки состояния притоков р. Трубеж за последние несколько лет. Использовались многоспектральные спутниковые данные высокого и среднего пространственного разрешения, полученные с Earth Explorer, Google Earth и Google Earth Engine. Дешифрирование космических снимков осуществлялось с применением геоинформационных технологий QGIS и Google Earth. Особое внимание уделялось выявлению участков с нарушенным гидрологическим режимом, зон повышенного антропогенного воздействия и потенциальных источников загрязнения водотоков.

### 2.2 Полевые исследования

Речная система Трубежа включает 16 притоков различного порядка: 6 именованных рек (рис.1), 2 безымянных водотока и 8 крупных ручьёв.

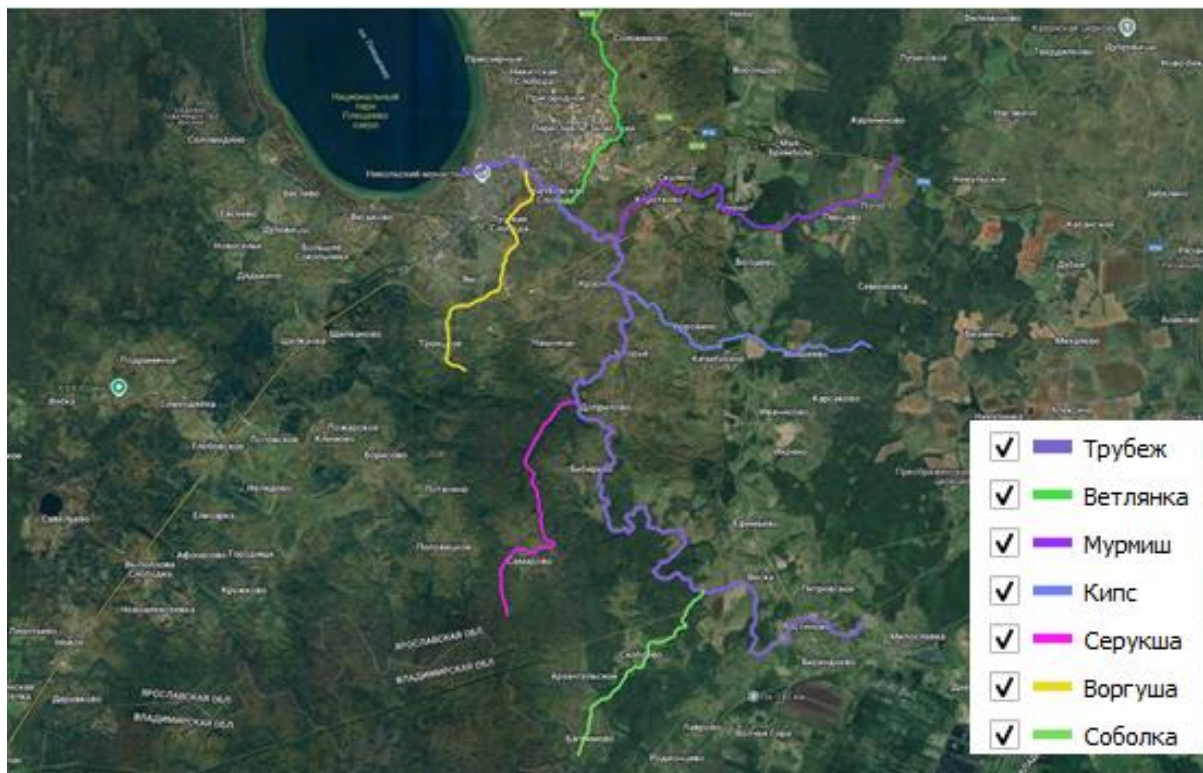


**Рис. 1.** 6 именованных рек – притоков реки Трубеж  
**Fig. 1.** 6 named tributary rivers of the Trubezh River

Наибольший практический интерес представляют именованные притоки, формирующие основную часть стока в реку Трубеж – Ветлянка, Мурмиш, Кипс и Воргуша. Выбор данных водотоков обусловлен их значительным вкладом в формирование гидрологического режима основного притока оз. Плещеево – реки Трубеж, и наличием потенциально проблемных участков, выявленных при анализе космических снимков.

Полевое обследование проводилось в июле 2024 в период межени. Методика полевых исследований включала визуальное обследование русел, выявление участков заиливания, нарушений прибрежных защитных полос и потенциальных источников загрязнения.

### **2.3 Гидрохимический анализ**

На реке Ветлянка, на берегах которой расположены промышленные объекты, проводился отбор проб воды для последующего гидрохимического анализа в лабораторных условиях для определения концентрации основных биогенных загрязняющих веществ, включая ионы аммония, нитрит-ионы, нитрат-ионы и фосфат-ионы. Пробы воды отбирались дважды: 1-й раз в сухую погоду, 2-й раз – во время дождя. Лабораторный анализ отобранных проб воды осуществлялся в соответствии с действующими нормативными документами ПНД Ф. Результаты проведенного исследования загружены в ГИС, которая предназначена для сбора и анализа данных, а также для моделирования процессов и оценки экологических рисков<sup>2</sup>.

## **3 Результаты и обсуждение**

### **3.1 Характеристика водосборного бассейна**

Анализ морфометрических характеристик показал, что водосборный бассейн реки Трубеж и её притоков занимает площадь 250,88 км<sup>2</sup>, что составляет 79,1% от общей площади водосбора Плещеева озера. Эти данные отличаются от данных, предоставленных Национальным парком «Плещеево озеро» (247,02 км<sup>2</sup> и 74% соответственно) и требуют уточнения с обеих сторон.

### **3.2 Река Ветлянка**

Наиболее интересной с точки зрения обследования является р. Ветлянка, поскольку она берёт начало из заболоченной местности вблизи Переславского кладбища и уже в самом верховье протекает мимо городских очистных сооружений. По данным анализа космических снимков было зафиксировано пересечение зоны очистных сооружений (иловых полей) и территории застройки с водоохранной зоной р. Ветлянка (рис. 2).

---

<sup>2</sup> Геоинформационная система «Интеллектуальный хранитель наследия Плещеево озеро»  
<https://kartfak.ru/development/pleshcheyevo/#11.96/56.72546/38.78923/35.8/32>



**Рис. 2.** Река Ветлянка. Коричневым цветом обозначена прибрежная защитная полоса.  
а) Нарушение прибрежной защитной зоны в районе очистных сооружений. (4329763 7714432).  
б) Нарушение прибрежной защитной зоны в районе строительных объектов. (4329027 7714666).  
**Fig. 2.** The Vetlyanka River. The coastal protective strip is marked in brown.  
а) Violation of the coastal protection zone in the area of sewage treatment plants. (4329763 7714432).  
б) Violation of the coastal protection zone in the area of construction sites. (4329027 7714666).

По результатам полевого обследования в р. Ветлянка зафиксировано интенсивное заиливание русла мощностью около 40 см. Русло истока реки характеризуется заболачиванием, а качество воды - повышенной мутностью (рис. 3). В русле наблюдается скопление твердых бытовых отходов, переносимых течением.



**Рис. 3.** Исток р. Ветлянка: а) космический снимок; б) полевое обследование, заиленный исток р. Ветлянка

**Fig.3.** The source of the river Vetlyanka: а) satellite image. The water area is marked in orange;  
б) field survey, silted source of the river. Vetlyanka

По ходу русла р. Ветлянка была выявлена критическая ситуация в районе очистных сооружений, где в результате анализа космических снимков и полевого обследования был

установлен факт размещения иловых полей в границах прибрежной защитной полосы (рис.4).



**Рис. 4.** Река Ветлянка. Коричневым цветом выделена прибрежная водоохранная зона, красным – территория очистных сооружений, оранжевым – территория сброса иловых отложений; синим – водное пространство. (4329768 7714277)

**Fig. 4.** The Vetlyanka River. The coastal water protection zone is highlighted in brown, the territory of sewage treatment plants is red, the territory of silt sediment discharge is orange, and the water area is blue. (4329768 7714277)

Пробы воды во время полевого обследования в этой зоне отбирались дважды. 1-й раз – в сухую погоду сток воды с территории сброса иловых отложений практически отсутствовал. 2-й раз – непосредственно во время дождя появился сток воды с этой территории. Гидрохимический анализ проб воды показал, что на подходе к иловым отложениям концентрация фосфат-ионов и ионов аммония была в норме и не превышала предельно-допустимые концентрации (0,62 ПДК). В точке, где происходит сток воды с иловых полей в реку – концентрация фосфат-ионов существенно превысила нормы (1,89 ПДК в сухую погоду и 5,28 ПДК во время дождя соответственно). После прохождения точки сброса концентрация фосфат ионов становится еще выше течению: в сухую погоду – 2,07 ПДК, во время дождя – 26,34 раза (рис. 5). Превышение ПДК ионов аммония наблюдалось во время дождя непосредственно вблизи стока в 4,98 раз (рис. 6).

Результаты этих наблюдений показали, что участок в верховьях р. Ветлянка требует пристального изучения и, возможно, регулярного мониторинга, поскольку объекты, находящиеся в границах водосборного бассейна на этой территории, могут быть источниками сильного диффузного загрязнения, особенно в период снеготаяния и дождей.

Анализ проб воды из р. Ветлянка, взятых вдоль промышленной зоны, не показал превышения концентрации фосфат-ионов и ионов аммония, за исключением точки на входе в промышленную зону (рис. 7). Однако следует отметить, что пробы отбирались в сухой день в межень. Для уточнения вклада этой территории в диффузное загрязнение следует провести более тщательное исследование, в том числе – в период половодья (весна) и/или в период дождей (осень).



Рис. 5. Концентрация фосфат-ионов в р. Ветлянка в районе иловых полей, выраженная в ПДК.

Fig.5. The concentration of phosphate ions in the Vetlyanka river in the area of self fields, expressed in MPC.

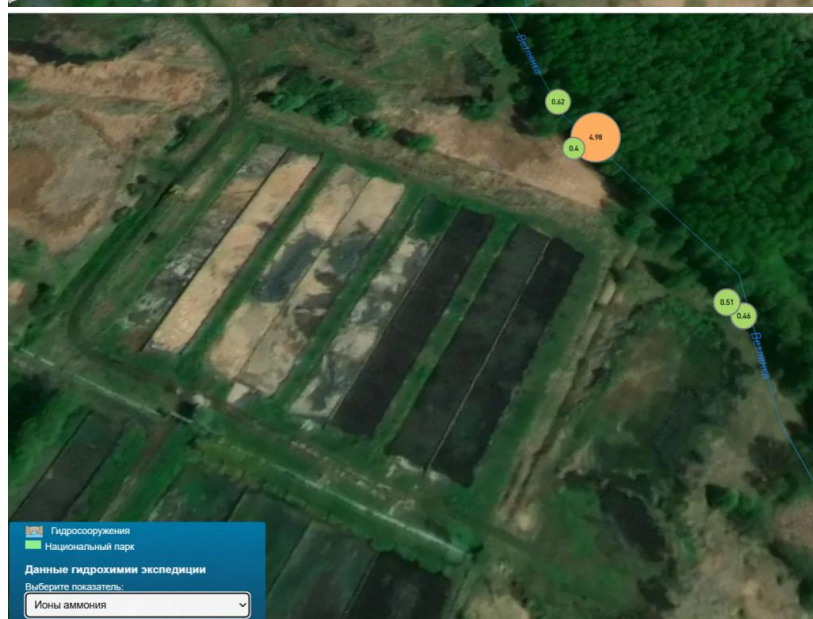


Рис. 6. Концентрация ионов аммония в р. Ветлянка в районе иловых полей, в ПДК.

Fig. 6. Concentration of ammonium ions in the Vetlyanka river in the area of silt fields, in MPC.

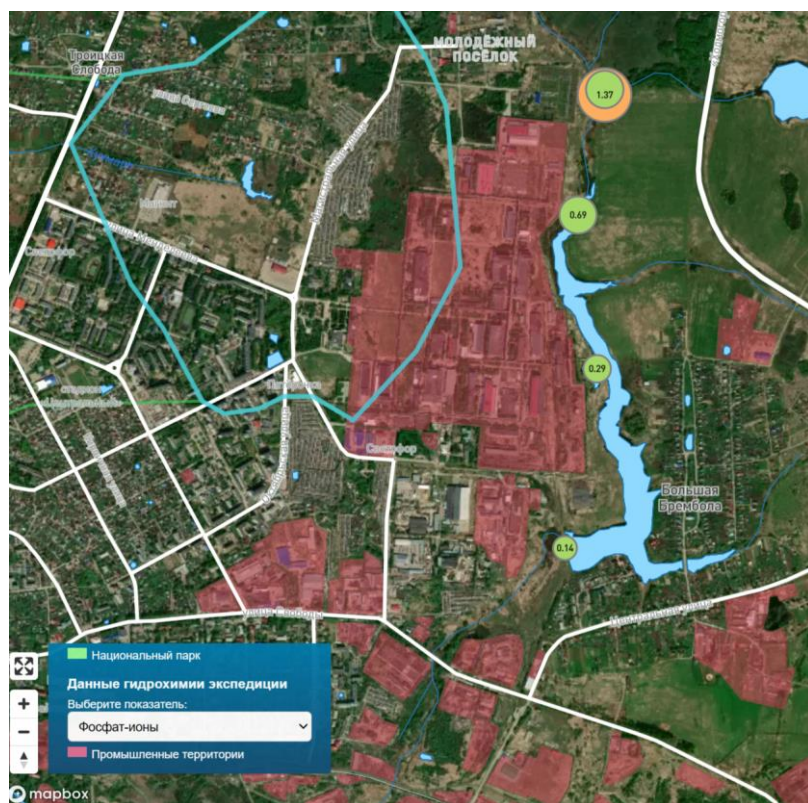


**Рис. 7.** Река Ветлянка. Прохождение водотока вдоль промышленной зоны. Концентрации фосфат ионов выражены в ПДК

**Fig. 7.** The Vetlyanka River. Passage of a watercourse along an industrial area. The concentrations of phosphate ions are expressed in MPC

### 3.3 Река Мурмиш

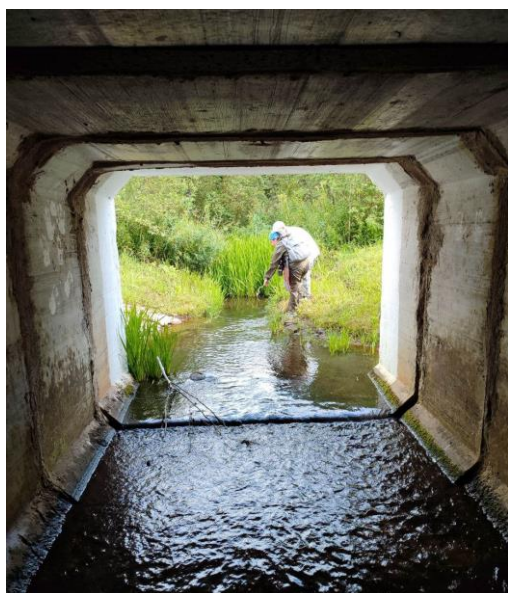
Анализ космических снимков показал, что р. Мурмиш характеризуется наличием искусственных расширений русла и изменением цвета воды в местах пересечения с транспортными коммуникациями (рис.8).



**Рис. 8.** Река Мурмиш. Расширение русла и изменение окраски воды в местах пересечения с транспортными коммуникациями. Коричневым цветом обозначена прибрежная защитная полоса. (4338606.6 7702512.3)

**Fig. 8.** Results of remote monitoring of the Murmish river with the presence of artificial channel extensions and changes in water color at the intersection with transport communications. The coastal protection zone is marked in brown. (4338606.6 7702512.3)

В рамках полевого обследования р. Мурмиш была выявлена значительная неоднородность скоростного режима течения по длине русла. В местах регулирования стока водопропускными трубами наблюдается увеличение скорости течения, тогда как на остальных участках отмечается замедление водотока, заиливание дна и зарастание водной растительностью (рис.9).



a)



b)



c)



d)

**Рис. 9.** Река Мурмиш. а, b) Неоднородностью скоростного режима течения по длине русла (4335376.4 7705102.3); c) искусственная копань в районе села Перцево (4343460.0 7704078.0)  
d) Воды ливневой канализации, относящиеся к р. Мурмиш (4343460.0 7704078.0).

**Fig. 9.** Murmish River. a), b) Heterogeneity of the flow velocity along the length of the riverbed (4335376.4 7705102.3); c) artificial trench near the village of Pertsevo (4343460.0 7704078.0);  
d) Storm sewer waters related to the Murmish River (4343460.0 7704078.0).

В районе села Перцево выявлена искусственная копань правильной геометрической формы (рис. 9c). Водоснабжение населённого пункта осуществляется из подземных источников, а к р. Мурмиш отводятся воды ливневой канализации (рис. 9d).

### 3.4 Река Кипс



a)



b)



c)

**Рис. 10.** Река Кипс. Расширение русла в районе дачного посёлка Коровино (4338889 7697026), а) идентифицированное по космическим снимкам (оранжевым цветом обозначено водное пространство); б) обнаруженное во время полевого обследования. в) гидротехническое сооружение, препятствующее свободному стоку воды (4343029 7703942).

**Fig. 10.** The Kips River. Widening of the riverbed in the area of the dacha village of Korovino (4338889 7697026), а) identified from satellite images (water area is indicated in orange); б) found during a field survey. в) A hydraulic structure that prevents the free flow of water (4343029 7703942).

На реке Кипс по результатам предварительного анализа космических снимков было идентифицировано расширение русла в районе дачного посёлка Коровино, предположительно связанное с устройством плотины (рис. 10а).

Во время полевого обследования русла реки Кипс было обнаружено, что на участке от истока до заболоченной территории в районе деревни Бакшеево русло представлено переувлажнёнными почвами с периодическим образованием временных водоёмов и характеризуется фрагментарным поверхностным стоком. По мере увеличения протяжённости наблюдается формирование устойчивого течения. В районе деревни Коровино зафиксировано образование искусственного водоёма (рис. 10 б), связанного с наличием гидротехнического сооружения, препятствующего свободному стоку воды (рис.10 с).

Поскольку значительная часть реки Кипс проходит вдоль неканализированной застроенной территории (дачный посёлок Коровинно), а также вдоль распаханых полей, септики и удобрения могут вносить существенный вклад в диффузное загрязнение озера, попадая сначала водоток реки Кипс, которая является притоком реки Трубеж (основного притока озера Плещеево).

### 3.5 Река Воргуша

Река Воргуша берет начало неподалеку от н.п. Троицкое, в верховьях характеризуется минимальным расходом воды и фрагментарным течением с частым переходом в подземный сток, протекает через распаханые поля, вдоль юго-западной границы г. Переславль-Залесский и, перед слиянием с р. Трубеж, возможно, разбирается на орошение полей (рис. 11). В местах пересечения транспортных коммуникаций в воде обнаружен налёт оранжевого цвета, свидетельствующий о возможном загрязнении (рис.12а). На берегах реки выявлены несанкционированные свалки бытовых отходов, представляющие потенциальную угрозу для качества водных ресурсов (рис.12б, 12с).

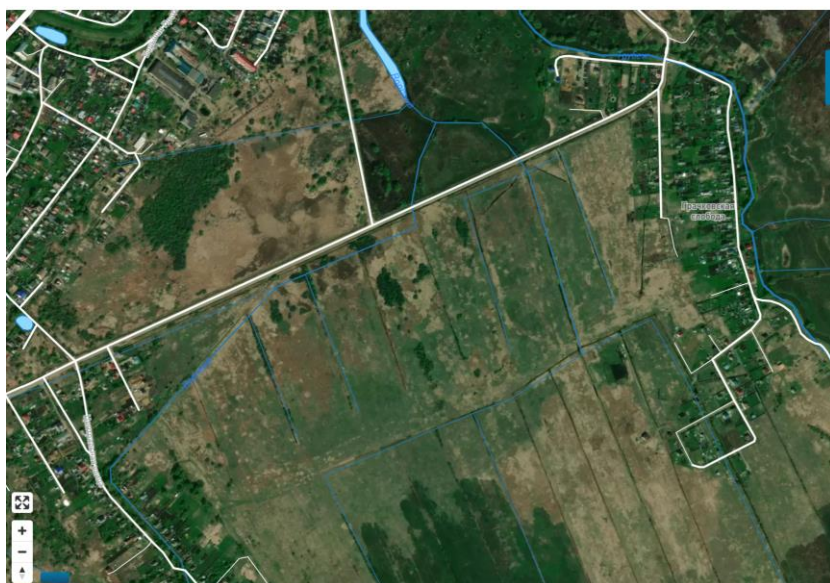


**Рис. 11.** Река Воргуша. Мелиорационные каналы в устье реки перед впадением в р. Трубеж (4325930 7704046)

**Fig. 11.** The Vorgusha River. Reclamation channels at the mouth of the river before the confluence with the Trubezh River (4325930 7704046)



a)

**Рис. 12.** Река Воргуша. а) Водоток оранжевого цвета в местах пересечения транспортных коммуникаций (4323098.7 7698610.4).

Несанкционированные свалки бытовых отходов на берегах

а) координаты 4321518.3,7697308.3;

б) координаты 4321568.6 7696944.1

**Fig.12.** The Vorgusha River. a) Orange-colored watercourse at the intersection of transport communications (4323098.7 7698610.4).

Unauthorized landfills of household waste on the shores:

a) coordinates 4321518.3,7697308.3;

b) coordinates 4321568.6 7696944.1



b)



c)

#### 4 Обсуждение

Не все участки доступны для проведения полевых обследований ввиду трудной доступности. Тем не менее, результаты, полученные на основании проведенного комплексного исследования, свидетельствуют о неудовлетворительном экологическом состоянии притоков реки Трубеж по состоянию на июль 2024 года. На рис.13 представлена карта-схема проблемных участков притоков Трубежа, которые удалось пройти и обнаружить в рамках полевого обследования. Основные виды проблемных участков – нарушенный (фрагментарный) водоток в верховьях рек, заиленный водоток, поля иловых отложений (в районе городских очистных сооружений), нарушающие границу водоохраной зоны р. Ветлянка, несанкционированные свалки мусора на берегах рек, гидротехнические сооружения, многие из которых заброшены и забиты мусором. Основными факторами деградации водных экосистем, наряду с климатическими изменениями, являются

антропогенное воздействие и недостаточная эффективность природоохранных мероприятий [2].



**Рис. 13.** Карта-схема проблемных участков на притоках р. Трубеж – р.Ветлянка, р.Воргуша, р.Кипс и р.Мурмиш, выявленных во время полевого обследования (июль 2024 г.)

**Fig. 13.** Map of problem areas on the tributaries of the Trubezh River – the Vetlyanka River, the Vorgusha River, the Kips River, and the Mummish River, identified during the field survey (July 2024)

Особую тревогу вызывает состояние реки Ветлянка, где зафиксированы значительные превышения нормативов качества воды по содержанию биогенных элементов. Размещение иловых полей в пределах водоохранной зоны представляет прямое нарушение природоохранного законодательства и требует мер по устранению. Участок водотока р. Ветлянка, проходящего вдоль очистных сооружений, рекомендуется взять под контроль и определить точку для регулярного мониторинга, поскольку эта территория может составлять значительный вклад в диффузное загрязнение стока реки Ветлянка и, соответственно, реки Трубеж и озера Плещеево. Несмотря на тот факт, что во время полевого обследования в пробах воды реки Ветлянка, взятых вдоль промышленной зоны в условиях сухой погоды в период межени, не обнаружено существенных превышений ПДК, этому участку реки также следует уделять особое внимание в мониторинге гидрохимического состояния, поскольку данные наблюдений Национального парка

«Плещеево озеро» показывают регулярное превышение ПДК фосфат-ионов ниже по течению в 1,5-3,5 раза, и эпизодическое превышение ПДК ионов аммония и нитрат-ионов<sup>3</sup>. Для определения основных источников загрязнения следует организовать исследование гидрохимических показателей в разных погодных условиях, в том числе - во время половодья и дождей.

Процессы заиливания русел, характерные для всех обследованных притоков, обусловлены нарушением естественного гидрологического режима вследствие антропогенного воздействия. Строительство гидротехнических сооружений и отсутствие контроля за их состоянием приводит к формированию застойных зон и ухудшению качества воды.

Полученные данные подтверждают эффективность комплексного подхода, сочетающего методы дистанционного зондирования с полевыми исследованиями. Космические снимки позволяют выявлять проблемные участки на обширных территориях, тогда как наземные обследования обеспечивают детальную характеристику локальных особенностей и причин наблюдаемых явлений.

## 5 Выводы

Водосборный бассейн Трубежа формирует основную часть наземного стока воды в Плещеево озеро, что определяет его ключевую роль в функционировании всей экосистемы озера.

Комплексное обследование притоков реки Трубеж в результате сочетания методов ДЗЗ, гидрохимического исследования воды и полевого визуального обследования состояния русел выявило серьёзные нарушения экологического состояния речной системы, требующие принятия природоохранных мер.

Гидрохимическое загрязнение р. Ветлянка биогенными элементами создаёт угрозу диффузного загрязнения, особенно в период половодья и дождей, и требует более тщательного изучения и устранения источников поступления загрязняющих веществ. Процессы заиливания и зарастания русел притоков обусловлены не только естественными процессами старения водных экосистем, но и комплексом антропогенных факторов. Проведенное обследование позволяет однозначно утверждать, что для оздоровления озера Плещеево необходимы не только мероприятия, направленные на само озеро, но в первую очередь необходима разработка комплексной программы восстановления экологического состояния притоков реки Трубеж, включающей мероприятия по устранению источников загрязнения, восстановлению прибрежных защитных полос и расчистке русел для увеличения проточности. Разработка такой программы требует предварительного

---

<sup>3</sup> Данные мониторинга Национального парка в геоинформационной системе «Интеллектуальный хранитель наследия «Плещеево озеро»  
<https://kartfak.ru/development/pleshcheyevo/#9.44/56.675/39.0124>

более детального комплексного исследования на основе гидрологических, гидрохимических методов и методов ДЗЗ, которое позволит определить источники загрязнения и потерь водного стока и обосновать меры по совершенствованию антропогенного воздействия на водные ресурсы бассейна озера Плещеево.

## Благодарности

Исследование выполнено в рамках студенческой экспедиции при поддержке программы «Открываем Россию заново», организованной Высшей школой экономики при поддержке президентской платформы «Россия — страна возможностей», программы Росмолодёжи «Больше, чем путешествие» и Всероссийской общественной организации «Русское географическое общество».

Авторы выражают благодарность администрации Национального парка «Плещеево озеро» за содействие в организации полевых исследований и предоставление материалов для анализа, а также всем участникам исследовательской группы.

## Библиография

1. Научные основы мониторинга качества вод / А. М. Никаноров. - СПб. : Гидрометеиздат, 2005. - 575 с.
2. Оценка антропогенных воздействий на водные ресурсы России / Н. И. Коронкевич, Е. А. Барабанова, А. Г. Георгиади [и др.] // Вестник Российской академии наук. – 2019. – Т. 89, № 6. – С. 603-614. – DOI 10.31857/So869-5873896603-614. – EDN ZSNAZF.

## State of the Trubezh River Tributaries: Comprehensive Study using Remote Sensing and Field Methods

Vasilisa D. Dadaikina<sup>1</sup>, Ekaterina D. Loshkova<sup>1</sup>, Valeriy A. Ermolenkov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Moscow State University of Geodesy and Cartography, Moscow, Russia

\* [dadaikinav@gmail.com](mailto:dadaikinav@gmail.com)

**Keywords** remote sensing, hydrological monitoring, Trubezh River, ecological state, watershed basin, Pleshcheyevo Lake, geoinformation technologies

**Abstract** The results of a comprehensive study on the tributaries of the Trubezh River - the Vetlyanka, Kips, Murmish, and Vorgusha rivers - conducted as part of the Pleshcheyevo Lake Intellectual Heritage Keeper project are presented. The study involved an analysis of satellite imagery to preliminarily assess of water surface changes and a subsequent survey of the most problematic areas. The main factors of anthropogenic impact on the tributaries were identified: siltation of river beds, pollution from sewage treatment plants, and violations of coastal protection zones. Hydrochemical analysis revealed that

the maximum allowable concentrations of phosphates and ammonium ions were exceeded in the Vetlyanka River.

### **Acknowledgements**

*The research was carried out as part of a student expedition supported by the Rediscovering Russia program, organized by the Higher School of Economics with the support of the presidential platform "Russia is a Land of Opportunity", the Rosmolodezh program "More than a Journey" and the All—Russian Public organization "Russian Geographical Society".*

*The authors would like to thank the administration of the Pleshcheyevo Lake National Park for their assistance in organizing field research and providing materials for analysis, as well as all participants in the research group.*