



УДК 505.54; 556.114

# О ВЛИЯНИИ ОСВОЕННОСТИ ВОДОСБОРА РЕКИ ВЕРХНЕЙ СУХОНЫ (ВОЛОГОДСКАЯ ОБЛАСТЬ) НА ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ВОД ЕЕ ПРИТОКОВ

**ИВИЧЕВА**  
Ксения Николаевна

ФГБНУ «Государственный научно-исследовательский институт  
озерного и речного рыбного хозяйства им. Л. С. Берга»,  
[ksenya.ivicheva@gmail.com](mailto:ksenya.ivicheva@gmail.com)

**ФИЛОНЕНКО**  
Игорь Владимирович

ФГБНУ «Государственный научно-исследовательский институт  
озерного и речного рыбного хозяйства им. Л. С. Берга»,  
[igor\\_filonenko@mail.ru](mailto:igor_filonenko@mail.ru)

## Ключевые слова:

Водосборы  
ландшафт  
антропогенная нагрузка  
гидрохимические показатели

**Аннотация:** С целью изучения влияния антропогенной нагрузки на водосборы рек Вологодской области и установления зависимости химического состава вод от источников загрязнения на реках бассейна Верхней Сухоны проведен отбор гидрохимических проб. Для водосборных территорий рассчитана плотность населения, осуществлено автоматизированное и визуальное дешифрирование основных элементов ландшафта. При дешифрировании выделены: леса, населенные пункты, сельхозугодия и другие территории, измененные хозяйственной деятельностью. Обнаружено увеличение концентрации загрязняющих веществ в водотоках с приближением к областному центру. Освоенность водосборов менялась в зависимости от характера ландшафта и близости к г. Вологде. С приближением к городу на водосборах растет плотность населения, увеличиваются относительные площади населенных пунктов и сельхозугодий, а доля лесов уменьшается. Показана положительная корреляционная зависимость содержания фосфатов и относительной площади сельхозугодий. Главной причиной поступления загрязняющих веществ в водотоки бассейна Верхней Сухоны является наличие на водосборах населенных пунктов и высокой плотности населения. При таких условиях наблюдается повышенное содержание в воде натрия, хлора, азотсодержащих соединений, перманганатной окисляемости.

© Петрозаводский государственный университет

Рецензент: Н. А. Павлова  
Рецензент: Е. В. Теканова

Получена: 21 марта 2017 года

Подписана к печати: 8 ноября 2017 года

## Введение

Водосбор – это часть земной поверхности, откуда вода поступает к водному объекту. Согласно бассейновому подходу, любой водоток следует рассматривать как составную часть системы «водосбор – водный объект». В настоящее время эта концепция получила широкое признание (Ткачев, Булатов, 2002; Андрианова, 2005; Иванов, Мазуркин, 2007; Ясинский, 2009). С разной степенью интенсивности в зависимости от сезона года с территории водосбора происходит вынос вещества в водный объект (Сорокин, 1956). Доля «водосборной» составляющей в формировании качества вод Вологодской области составляет 50 %, а в отдельные годы – до 70–80 % (Доклад..., 2012). Основная часть веществ поступает в период весеннего паводка и в период дождей (Драбкова, Сорокин, 1979). Поступление веществ антропогенного происхождения может приводить к таким негативным процессам, как заиление, закисление, эвтрофирование и др. Количество поступающих в водосбор веществ зависит от характера и степени антропогенной нагрузки на водосбор.

В настоящее время разработаны методики (Клементова, Гейниге, 1995; Скорняков, 1999; Чернышев, 2011; Курганович, Шаликовский, 2014), позволяющие количественно рассчитать антропогенную нагрузку на водосбор по комплексу показателей. В большинстве случаев они применяются для зон с развитым сельским хозяйством и высокой степенью деградации земель. Территория Вологодской области относится к зоне рискованного земледелия (Природное..., 1970), поэтому для оценки антропогенной нагрузки необходимо использовать другие критерии. Вся область расположена в зоне тайги, где основным типом растительности являются леса (Природа..., 2007). Соответственно, важнейшим показателем считается облесенность водосбора (Алябина, Сорокин, 1983). При доле лесов менее 60 % нарушается экологическое равновесие территории (Реймерс, 1994). Заболоченные территории также относятся к естественным ландшафтам, их присутствие на водосборе существенно влияет на ионный состав вод (Савичев, 2005). С открытых территорий смыв вещества происходит более интенсивно, чем с облесенных. Сельхозугодия являются фактором неблагоприятного воздействия (Сорокин, 1983; Борисов, 2006). Наибольшее негативное влияние на качество вод оказы-

вает поверхностный сток с застроенных и промышленных территорий (Пициль, 2013). Другим важным показателем является плотность сельского и городского населения на водосборе (Коронкевич и др., 1995; Андрианова, 2005). В целом качество вод в водном объекте является индикатором экологического состояния территории суши, которую охватывает его водосбор.

Цель работы – оценка антропогенной нагрузки на водосборы рек и выявление взаимосвязи химического состава вод и основных источников загрязнения.

## Материалы

Объектом исследования послужили 1 средняя (площадь водосбора от 2000 до 50000 км<sup>2</sup>) и 5 малых (площадь водосбора до 2000 км<sup>2</sup>) рек, являющихся притоками р. Сухона разного порядка: Вологда, Лоста, Лухта, Комья, Черный Шингарь, Белый Шингарь (рис. 1). Водотоки расположены в пределах трех ландшафтов: 1) Присухонская низина, 2) возвышенность Авнига, 3) Вологодско-Грязовецкая возвышенность (Максимова, 2006).

Пробы для гидрохимического анализа отбирались однократно в октябре 2013 г. на 10 створах: 5 на реке Вологда и по одному на малых реках (рис. 1). На реке Вологда створы находились в верхнем течении, в водохранилище, до города, в центре города, ниже города. Для определения плотности населения использовались данные переписей 2002 и 2014 гг. Работа с пространственной информацией осуществлялась в ArcGIS и Quantum GIS. Использовались данные Shuttle radar topographic mission (SRTM) (Jarvis et al., 2008), снимок Landsat 8: LC81780192014200LGN00 (USGS Global Visualization Viewer, 2015) и материалы картографических сервисов Google и Яндекс.

## Методы

Анализ гидрохимических проб проводился в Аккредитованной испытательной лаборатории Федерального государственного учреждения Государственного центра агрохимической службы «Вологодский» (ФГБУ ГЦАС «Вологодский») (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.21ПЧ08).

Построение водосборных бассейнов и участков бассейнов до створов проводилось инструментами группы Hydrology ArcGIS на основе данных Shuttle radar topographic mission (SRTM) (Jarvis et al., 2008). Полученные полигоны водосборных бассейнов кор-

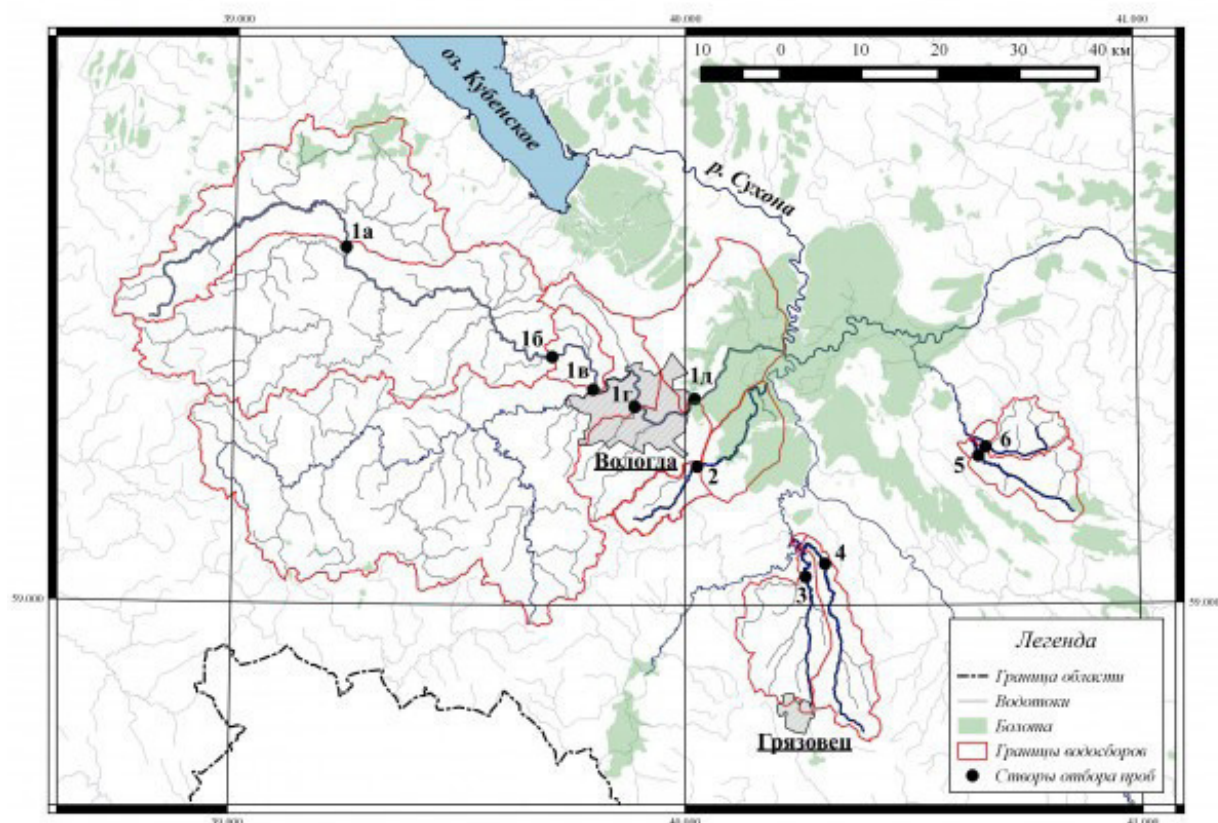


Рис. 1. Территория исследований и створы отбора проб: 1а – р. Вологда в верховьях; 1б – р. Вологда в водохранилище; 1в – р. Вологда выше города; 1г – р. Вологда в центре города; 1д – р. Вологда ниже города; 2 – р. Лоста; 3 – р. Лухта; 4 – р. Комья; 5 – р. Черный Шингарь; 6 – р. Белый Шингарь

Fig. 1. Research area and sampling points: 1a – upper reaches of the Vologda river; 1b – Vologda river in the water basin; 1c – Vologda river up to the city; 1r – Vologda river in the center of the city; 1d – Vologda river below the city; 2 – Losta river; 3 – Luhta river; 4 – Kom'ya river; 5 – Chernyi Shingar' river; 6 – Belyi Shingar' river

ректировались по изолиниям рельефа и гидрографической сети топографических карт масштаба 1:100000. Дальнейшая обработка всех данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) проводилась только в рамках этих границ.

Для оценки антропогенной нагрузки на водосборы рек рассчитывались плотность населения и площади территорий с разными видами хозяйственной деятельности. Осуществлялся анализ ДЗЗ путем автоматического и визуального дешифрирования.

Автоматизированная классификация ДЗЗ проводилась инструментом «Изокластер» (IsoCluster) из пакета ArcGis методом максимального подобия (Maximum Likelihood Classification) (Неконтролируемая классификация..., 2015). Обработке подвергался снимок LC81780192014200LGN00 (USGS Global Visualization Viewer, 2015) (2-й, 3-й и 4-й каналы) разрешение которого было увеличено до 15 м за счет панхроматического

канала в среде ArcGis. После классификации на 20 классов пиксели с одинаковыми показателями объединялись в группы с визуальной корректировкой по другим ДЗЗ. Визуальное дешифрирование проводилось на основе изображений максимального разрешения сервисов Google Earth и Яндекс. По мозаикам снимков в программе Quantum GIS строились векторные полигоны лесов, сельхозугодий, населенных пунктов. В качестве болот использовались полигоны, ранее подготовленные совместно И. В. Филоненко и Д. А. Филипповым (Филоненко, Филиппов, 2013). Проводилось сопоставление результатов дешифрирования космоснимков с данными, полученными в ходе экспедиций 2010–2013 гг.

Для оценки взаимосвязи содержания химических элементов в водах водотоков и экологической нагрузки на водосбор был использован метод корреляции Пирсона.



## Результаты

Особенностью водотоков Вологодской области являются сезонные колебания состава воды (мутность, цветность, щелочность, жесткость). Природным генезисом территории определяется высокое содержание железа, меди и цинка. Это явление носит фоновый характер (Доклад..., 2012). Влияние антропогенного загрязнения наиболее сильно проявляется в период зимней и летне-осенней межени, когда уровни в водотоках достигают минимальных значений, а также в период подъема весеннего половодья, когда происходит интенсивное таяние снежного покрова (Филенко, 1966).

Изученные водотоки характеризуются значительным размахом водородного показателя вод ( $pH = 6.9–9.1$ ). В р. Вологда значения  $pH$  сильно варьируют, и в целом прослеживается тенденция к его увеличению по мере движения от истока к устью: верховья реки (1а) – реакция среды нейтральная, водохранилище (1б) и центр города (1г) – слабощелочная, ниже плотины (1в) и ниже города (1д) – щелочная. Во всех малых реках значения  $pH$  имеют схожие величины, а воды характеризуются как нейтральные. Это свидетельствует о слабой заболоченности их водосборов и отсутствии прямого влияния болот на данные водные объекты (см., например, Филиппов, 2014).

По классификации Алёкина (1970), воды в исследованных реках относятся к гидрокарбонатному классу группы кальция повышенной минерализации. Наименьшая минерализация отмечена в реках Лоста и Черный Шингарь (табл. 1), наибольшая – в р. Вологда в водохранилище (1б). В анионном комплексе преобладают гидрокарбонаты, что является характерной чертой всей Вологодской области (Филенко, 1966) и таежной зоны в целом (Китаев, 2007). Повышенное содержание хлоридов отмечается в р. Вологда ниже города.

Цветность является показателем наличия в воде труднорастворимых гуминовых и фульвовых кислот, а также железа. По шкале М. А. Фортунатова (1959), исследованные водотоки на большинстве станций относятся к олигогумозным. Река Вологда в водохранилище (1б) и ниже города (1д) и р. Лоста – мезоолигогумозным.

Перманганатная окисляемость свидетельствует об интенсивности продукционных процессов внутри водоемов. На всех станциях кроме р. Вологда ниже плотины

(1б), рек Лухта и Белый Шингарь значение перманганатной окисляемости превышают санитарно-эпидемиологические ПДК (Сан-ПиН 2.1.14.1074-01). Наибольшая концентрация отмечена в реке Вологда ниже города (1д).

Фосфор является основным лимитирующим компонентом в условиях Вологодской области (Борисов, 2004). Наибольшие концентрации фосфора отмечены в реках Лоста, Лухта и Комья, чьи водосборы в значительной степени распаханы. Концентрации нитрат-ионов и нитрит-ионов в большинстве створов низкие, в то время как концентрация аммоний-иона высокая.

Из всех исследованных рек наибольшая плотность населения ( $120 \text{ чел./км}^2$ ) наблюдается на водосборе р. Вологда (табл. 2), при этом она увеличивается на участках водосбора вниз по течению (от 1.8 до  $130.5 \text{ чел./км}^2$ ). Наименьшая плотность населения отмечена в водосборах рек Черный Шингарь и Комья. Водосбор р. Черный Шингарь полностью расположен в пределах Присухонской низины, заболоченный рельеф которой не позволяет располагать здесь крупные населенные пункты. Водосбор р. Белый Шингарь, граничащий с водосбором р. Черный Шингарь, расположен уже в пределах другого типа ландшафта и является более привлекательным для проживания населения. Водосборы рек Комья и Лухта расположены в отдалении от областного центра. Часть водосбора р. Лухта расположена в пределах г. Грязовца и его окрестностей, что обеспечивает высокие показатели плотности населения. Наибольшее значение плотности населения среди всех малых рек отмечено на водосборе р. Лоста. Отмечается тенденция увеличения плотности населения при приближении к областному центру.

Автоматизированное дешифрирование позволило выделить следующие категории земель: водоемы, облесенные участки (в том числе искусственные насаждения), открытые участки (в том числе верховые болота и заливные луга), зону наиболее плотной застройки (только для водосбора р. Вологда).

Путем визуального дешифрирования стало возможным обозначить участки с конкретными видами хозяйственной деятельности: леса, заливные луга, сельхозугодия, заброшенные поля, вырубки, осушенные торфяники, территории населенных пунктов. Исходя из интенсивности хозяйственной деятельности были выделены следующие категории: болота, леса (вместе с заливными лу-

Таблица 1. Гидрохимические показатели качества вод в водотоках

| Показатель   | Вологда |      |       |       |       | Лоста,<br>2 | Лухта,<br>3 | Комья,<br>4 | Чер-<br>ный<br>Шин-<br>гарь, 5 | Белый<br>Шин-<br>гарь, 6 |
|--|---------|------|-------|-------|-------|-------------|-------------|-------------|--------------------------------|--------------------------|
|  | 1а      | 1б   | 1в    | 1г    | 1д    |             |             |             |                                |                          |
| рН   | 7.1     | 8.3  | 8.6   | 8.2   | 9.1   | 6.9         | 6.9         | 6.9         | 7.0                            | 7.0                      |
| Минерализация,<br>мг/л                                 | 558     | 726  | 686   | 681   | 588   | 490         | 683         | 586         | 507                            | 522                      |
| Цветность  | 20      | 21   | 16    | 17    | 22    | 23          | 19          | 20          | 18                             | 17                       |
| Окисляемость<br>перманганатная,<br>мгО <sub>2</sub> /л | 5.6     | 5.6  | 4.6   | 6.4   | 7.7   | 5.6         | 4.3         | 5.6         | 5.4                            | 4.0                      |
| ХПК, мгО <sub>2</sub> /л                               | 20      | 30   | 30    | 50    | 40    | 30          | 30          | 20          | 20                             | 20                       |
| Хлориды, мг/л  | <10     | 30.1 | 47.0  | 40.7  | 67.3  | 21.2        | <10         | <10         | <10                            | <10                      |
| Натрий, мг/л   | 19.4    | 57.6 | 42.0  | 48.0  | 60.0  | 22.6        | 37.6        | 22.6        | 14.0                           | 7.4                      |
| Калий, мг/л  | 1.8     | 3.0  | 3.4   | 5.4   | 7.0   | 3.0         | 6.4         | 4.8         | 3.0                            | 2.4                      |
| Фосфаты, мг/л  | <0.05   | 0.06 | <0.05 | 0.104 | 0.085 | 0,25        | 0.18        | 0.15        | <0.05                          | 0.06                     |
| Нитрат-ион, мг/л                                       | 0.4     | 0.8  | 0.6   | 0.7   | 16.8  | 1.6         | 4.0         | 0.4         | 0.3                            | 2.3                      |
| Нитрит-ион, мг/л                                       | 0.04    | 0.07 | 0.05  | 0.05  | 0.87  | 0.06        | 0.19        | 0.04        | 0.04                           | 0.07                     |
| Аммоний-ион,<br>мг/л                                   | 0.51    | 0.57 | 0.58  | 1.21  | 1.09  | 0.61        | 0.56        | 0.11        | 0.23                           | 0.81                     |

Примечание. Номера створов соответствуют таковым на рис. 1.

Таблица 2. Площади и плотность населения в водосборах

| Река, створ          | Площадь<br>водосбора,<br>км <sup>2</sup> |   | Плотность<br>населения,<br>чел./км <sup>2</sup>             |        |
|----------------------|--|---|---|--------|
|                      | Всего                                    | Площадь<br>водосбора в<br>створе, км <sup>2</sup> | Плотность<br>населения в<br>створе,<br>чел./км <sup>2</sup> |        |
| Вологда              | Всего                                    | 2932.9  | -   | 119.99 |
|                      | 1а                                       | -   | 477.2   | -      |
|                      | 1б                                       | -   | 1280.4  | -      |
|                      | 1в                                       | -   | 1335.4  | -      |
|                      | 1г                                       | -   | 2529.4  | -      |
|                      | 1д                                       | -   | 2685.4  | -      |
| Лоста, 2             |  | 155   | 55.4  | 55.18  |
| Лухта, 3             |  | 156.1   | 143.8   | 16.89  |
| Комья, 4             |  | 110.7   | 103.3   | 0.98   |
| Черный<br>Шингарь, 5 |  | 86.1  | 81.7  | 0.81   |
| Белый<br>Шингарь, 6  |  | 61.2  | 54.1  | 13.03  |

Примечание. Номера створов соответствуют таковым на рис. 1.

гами), нарушенные территории (преобразованные, но не эксплуатируемые человеком: вырубки, заброшенные поля, выработанные торфяники), эксплуатируемые сельхозугодия (поля и пашни), земли населенных пунктов. Результаты автоматизированного и визуального дешифрирования водосбора р. Вологда в целом сходны (табл. 3). Визуальное дешифрирование позволило выявить больше населенных пунктов. Отмечается концентрация сельхозугодий и населенных пунктов вокруг г. Вологды, вдоль дорог и вдоль реки. Река практически на всем своем протяжении протекает по преобразованным территории-

ям. Леса подходят вплотную к реке только в верховьях. В нижнем течении территория города и сельхозугодия прилегают к болоту. Между городом и болотом отмечается «буферная» зона осушенных и выработанных торфяников. Исторически город сформировался на склоне Присухонской низины, где сейчас расположена примерно половина его территории. Расширение территории города в советский период происходило частично в сторону днища долины, проводились мероприятия по осушению прилегающих участков болот.

Таблица 3. Результаты дешифрирования территорий водосборов в створах (в % от площади)

| Показатели                            |                                  | Вологда |      |      |      |      | Лос-<br>та,<br>2 | Лух-<br>та,<br>3 | Ко-<br>мья,<br>4 | Чер-<br>ный<br>Шин-<br>гарь,<br>5 | Бе-<br>лый<br>Шин-<br>гарь,<br>6 |
|---------------------------------------|----------------------------------|---------|------|------|------|------|------------------|------------------|------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
|                                       |                                  | 1а      | 1б   | 1в   | 1г   | 1д   |                  |                  |                  |                                   |                                  |
| Визуальное<br>дешифриро-<br>вание     | Болота                           | 6.9     | 2.6  | 2.5  | 1.4  | 1.4  | -                | -                | -                | 3.9                               | -                                |
|                                       | Леса                             | 65.8    | 64.4 | 62.7 | 60.4 | 57.3 | 35.0             | 45.8             | 59.3             | 76.7                              | 57.5                             |
|                                       | Нарушенные земли                 | 6.7     | 6.4  | 6.3  | 6.8  | 7.3  | 1.6              | 3.5              | 4.4              | 7.2                               | 9.6                              |
|                                       | Эксплуатируемые<br>сельхозугодия | 19.4    | 24.1 | 25.4 | 25.9 | 26.4 | 57.4             | 46.1             | 35.3             | 11.8                              | 29.9                             |
|                                       | Населенные пункты                | 1.2     | 2.5  | 3.1  | 5.5  | 7.7  | 6.0              | 4.6              | 1.0              | 0.4                               | 3.0                              |
| Автоматиче-<br>ское дишиф-<br>рование | Облесенные участ-<br>ки          | 65.6    | 62.1 | 60.6 | 58.4 | 55.8 | 38.7             | 41.4             | 55.0             | 79.7                              | 61.3                             |
|                                       | Открытые участки                 | 34.3    | 37.6 | 39.0 | 40.5 | 42.3 | 61.1             | 58.6             | 45.0             | 20.3                              | 38.7                             |
|                                       | Водоемы                          | 0.1     | 0.1  | 0.2  | 0.1  | 0.2  | 0.2              | -                | -                | -                                 | -                                |
|                                       | Плотная застройка                | 0.0     | 0.1  | 0.2  | 0.9  | 1.7  | -                | -                | -                | -                                 | -                                |

Примечание. Номера створов соответствуют таковым на рис. 1.

Значительная часть водосбора р. Лоста занята болотами и прилегающими к ним выработанными торфяниками. Леса подходят к водотоку только в истоке, на большем своем протяжении река протекает по открытой местности. Водосбор р. Лухта распахан в большей степени, чем прилегающий к ней водосбор реки Комья, что объясняется близостью к городу Грязовец. В нижнем течении водосборы обеих рек сильно распаханы. Водосбор р. Черный Шингарь распахан незначительно, населенные пункты единичны. Высокая степень заболоченности ландшафта затрудняет хозяйственное освоение территории. Прилегающий к нему водосбор р. Белый Шингарь распахан сильнее. При приближении к областному центру отмечается уменьшение на водосборах площадей лесов и облесенных участков и увеличение площадей территорий, в различной степени пре-

образованных человеком.

Естественным биотопом в таежной зоне являются леса. Любую территорию, лишенную древесной растительности (за исключением травяных болот и заливных лугов), следует относить к нарушенным территориям. Согласно пропорции Одумов (Реймерс, 1994), целесообразное экологическое равновесие территории возникает при соотношении преобразованных земель к естественным как 40 к 60. На водосборе р. Вологды доля преобразованных земель увеличивается вниз по течению и на створе ниже города незначительно превышает 40 % (табл. 2). Дальнейшая распашка водосбора приведет уже к нарушению экологического равновесия. На водосборах рек Лоста и Лухта доля лесов менее 50 %, пропорции экологического равновесия не соблюдаются. Водосборы рек Комья и Белый Шингарь находятся в со-

стоянии экологического равновесия. Лишь территория водосбора р. Черный Шингарь изменена менее чем на 25 % и поэтому только здесь возможно дальнейшее хозяйственное освоение.

Анализ корреляционной зависимости показал, что наибольшее влияние на качественный состав поверхностных вод оказывают плотность населения и доля населенных пунктов (табл. 4). Хлориды, натрий и калий показывают положительную корреляционную зависимость с плотностью населения и долями населенных пунктов на водосборе. Вещества, содержащие данные три иона, не превышают ПДК. Вероятно, они попадают на водосбор в зимний период в составе противогололедного реагента, содержащего NaCl. Фосфаты показывают отрицательную корреляцию с облесенными территориями и положительную – с открытыми. При этом

данная группа ионов не обнаруживает зависимости с плотностью населения и площадями населенных пунктов, поэтому можно говорить о сельском хозяйстве как основном источнике поступления данной группы загрязняющих веществ в воде. Азотистые соединения (нитрат-ион, нитрит-ион, аммонийный азот) проявляют прямую зависимость от плотности населения и населенных пунктов. Данная группа веществ поступает в водоток с коммунальными стоками, а также, в случае отсутствия канализации, путем диффузного стока с территорий, занятых жилыми домами. Перманганатная и бихроматная окисляемость также показывают положительную корреляцию с плотностью населения и долей земель, занятых населенными пунктами, которые являются основными источниками поступления органических веществ в водоток.

Таблица 4. Значения коэффициентов корреляции между ионным составом вод и категориями освоенности земель (жирным выделены значения при  $p < 0.05$ )

| Показатель                  | Плотность населения в створе, чел./км <sup>2</sup> | Болота + леса, % | Нарушенные земли, % | Эксплуатируемые сельхозугодия, % | Населенные пункты, % | Открытые участки, % | Облесенные участки + водоемы, % | Плотная застройка, % |
|-----------------------------|--|------------------|---------------------|----------------------------------|----------------------|---------------------|---------------------------------|----------------------|
| Хлориды                     | <b>0.82</b>  | -0.04            | 0.14                | -0.11                            | <b>0.69</b>          | 0.04                | -0.08                           | <b>0.84</b>          |
| Натрий                      | <b>0.65</b>  | -0.04            | -0.04               | -0.05                            | 0.57                 | 0.16                | -0.19                           | <b>0.67</b>          |
| Калий                       | <b>0.70</b>  | -0.32            | -0.19               | 0.23                             | 0.62                 | 0.39                | -0.42                           | <b>0.67</b>          |
| Фосфаты                     | 0.11   | <b>-0.90</b>     | <b>-0.84</b>        | <b>0.94</b>                      | 0.47                 | <b>0.89</b>         | <b>-0.88</b>                    | -0.09                |
| Нитрат-ион                  | <b>0.82</b>  | -0.19            | 0.14                | 0.04                             | <b>0.69</b>          | 0.16                | -0.20                           | <b>0.82</b>          |
| Нитрит-ион                  | <b>0.83</b>  | -0.13            | 0.15                | -0.02                            | <b>0.66</b>          | 0.11                | -0.16                           | <b>0.84</b>          |
| Азот аммонийный             | <b>0.79</b>  | -0.22            | 0.32                | 0.02                             | <b>0.79</b>          | 0.16                | -0.19                           | <b>0.75</b>          |
| Окисляемость перманганатная | <b>0.80</b>  | 0.10             | 0.01                | -0.18                            | 0.47                 | -0.09               | 0.05                            | <b>0.82</b>          |
| ХПК                         | <b>0.81</b>  | -0.24            | -0.05               | 0.10                             | <b>0.78</b>          | 0.26                | -0.29                           | <b>0.75</b>          |

## Обсуждение

Прослеживается тенденция увеличения антропогенной нагрузки на водосбор при приближении к городу Вологде. Орографические характеристики территории также влияют на привлекательность территории для хозяйственного освоения. Основными факторами, влияющими на экологическое состояние водосбора, являются ландшафт и близость к городу.

Наименьшая антропогенная нагрузка и минимальные значения гидрохимических показателей отмечены в водосборе р. Черный Шингарь. Низкая привлекательность данного водосбора для хозяйственной деятельности объясняется орографическими особенностями: он полностью расположен на территории Присухонской низины. Водосбор реки Белый Шингарь, находящийся уже в пределах возвышенности Авнига, характеризуется большими площадями на-



рушенных территорий. На водосборе реки Вологда в верховьях, находящемся также на возвышенности, отмечены сходные показатели. Все три водосбора характеризуются наибольшим удалением от г. Вологды.

Максимальную антропогенную нагрузку среди всех створов испытывает водосбор реки Лоста, расположенный в пригороде г. Вологды. Нахождение исследованного участка водосбора на возвышенности делает его привлекательным для сельского хозяйства и жизни населения. При этом даже на водосборе р. Вологда в нижнем течении доля лесов на водосборе значительно выше и соответствует этому показателю на водосборе р. Комья. Наибольшие площади населенных пунктов отмечены на водосборах рек Лоста и Вологда в центре города и ниже города. В этих реках регистрируется наибольшее загрязнение вод. Зависимость этих параметров, как и в предыдущих исследованиях (Ивичева, Филоненко, 2013), подтверждена статистически. Наибольшая плотность населения регистрируется в двух нижних створах р. Вологда. Этот показатель демонстрирует наибольшее влияние на концентрации загрязняющих элементов. Как и в исследованиях Н. А. Курганович и А. В. Шаликовского (2014) плотность населения, особенно городского, является наиболее важной характеристикой экологического состояния.

Уменьшение доли лесов и увеличение населенных пунктов на водосборах малых рек при приближении к городу Вологде происходит более интенсивно, чем вниз по течению р. Вологда. В Вологодской области по сравнению, например, со степной рекой Шу (Кирейчева и др., 2015), экологическое равновесие на большинстве водосборов со-

храняется. Нарушение его отмечено только для двух малых рек: Лоста и Лухта. Как и в бассейне реки Степной Зай (Минуллина и др., 2010), бассейны малых рек Верхней Сухоны более уязвимы по сравнению с бассейнами средних рек. Интенсивная хозяйственная деятельность на них может привести к деградации малых водотоков. В целом для территории Вологодской области отмечаются схожие закономерности с территориями, расположенными в других природных зонах.

## Заключение

Инструментами ГИС проведена оценка антропогенной нагрузки на водосборы и рассчитана плотность населения и площади преобразованных человеком территорий. Выявлены следующие категории земель: естественные территории (леса, болота, заливные луга), нарушенные земли и земли населенных пунктов. Результаты автоматизированного и визуального дешифрирования дали сходные результаты. Антропогенная нагрузка на водосбор определяется характером ландшафта, в котором этот водосбор расположен, и степенью близости к крупному промышленному центру. С приближением к городу на водосборах уменьшаются площади лесов, а плотность населения и площади населенных пунктов возрастают. Водосборы малых рек, по сравнению с водосбором средней реки, более уязвимы. Анализ корреляционной зависимости антропогенной нагрузки и результатов химического анализа показал, что наибольшее негативное влияние на качество вод водотоков оказывают плотность населения и доля на водосборе населенных пунктов.

## Библиография

- Алёкин О. А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометиздат, 1970. 442 с.
- Алябина Г. А., Сорокин И. Н. Запас веществ на водосборе, условия их реализации и поступления в водосбор // Изменение в системе «Водосбор-озеро» под влиянием антропогенного фактора. Л.: Наука, 1983. С. 62–68.
- Андрианова А. Б. Географо-экологический анализ антропогенного давления на водосборные и водные бассейны: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 2005. 22 с.
- Борисов М. Я. Изменение содержания фосфора в почвах водосбора озера Воже и его влияние на эфтрофирование водоема // Вестник НСО. Серия «Физико-математические и естественно-научные дисциплины». Темат. вып. «Исследования биологического и ландшафтного разнообразия Вологодской области». Вологда: Русь, 2004. С. 8–13.
- Борисов М. Я. Особенности функционирования системы «водосбор-озеро Воже» и ее влияние на рыбное население: Дис. ... канд. биол. наук. Петрозаводск, 2006. 242 с.
- Доклад об экологической обстановке на территории Вологодской области и итогах деятельности Департамента в 2011 году. Вологда, 2012. 69 с.
- Драбкова В. Г., Сорокин И. Н. Озеро и его водосбор – единая природная система. Л.: Наука, 1979. 195 с.
- Иванов А. А., Мазуркин П. М. Экологическая оценка водосборов малых рек (на примере Республики



- Марий Эл) . Йошкар-Ола: МарГТУ, 2007. 108 с.
- Ивичева К. Н., Филоненко И. В. Анализ зависимости качества вод по гидрохимическим показателям от освоенности водосборов // Принципы экологии. 2013. Т. 2. № 3 (7). С. 53–61. DOI: 10.15393/j1.art.2012.1061.
- Китаев С. П. Основы лимнологии для гидробиологов и ихтиологов . Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 395 с.
- Кирейчева Л. В., Козыкеева А. Т., Даулетбай С. Т. Оценка экологической устойчивости водосборов в бассейне реки Шу при их комплексном обустройстве // Международный научно-исследовательский журнал. 2015. № 9 (40). Ч. 3. С. 23–26.
- Клементова Е., Гейниге В. Оценка экологической устойчивости сельскохозяйственных ландшафтов // Мелиорация и водное хозяйство. 1995. № 5. С. 33–34.
- Коронкевич Н. И., Зайцева И. С., Китаев Л. М. Негативные гидроэкологические ситуации // Известия РАН. Сер. геогр. 1995. № 1. С. 43–52.
- Курганович Н. А., Шаликовский А. В. Оценка антропогенной нагрузки на водосборы рек Забайкальского края // Вестник ЗабГУ. 2014. № 10 (113). С. 4–10.
- Максимова Н. К. Ландшафты Вологодской области: Учеб. пособие . Вологда, 2006. 56 с.
- Минуллина А. А., Мусткимова И. В., Мавляутдинова Г. С. Расчет различных показателей состояния бассейна малой реки (на примере реки Степной Зай) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2010. Т. 12. № 1–4. С. 963–966.
- Неконтролируемая классификация изокластера. URL: <http://resources.arcgis.com/ru/help/main/10.1/index.html#/009z000000pn000000> (дата обращения: 05.02.2017).
- Пициль А. О. Оценка выноса загрязняющих веществ от неточечных источников на городских территориях // Альманах современной науки и образования. 2013. № 9 (76). С. 141–144.
- Природа Вологодской области . Вологда: Изд. дом «Воложанин», 2007. 440 с.
- Природное районирование Вологодской области для целей сельского хозяйства . Л.: Северо-Западное кн. изд-во, 1970. 258 с.
- Реймерс Н. Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы) . М.: Журнал «Россия Молодая», 1994. 367 с.
- Савичев О. Г. Влияние болот на гидрохимический сток в бассейне Средней Оби (в пределах Томской области) // Известия Томского политехнического университета. 2005. Т. 308. № 3. С. 47–50.
- СанПиН 2.1.4.1074-01. Питьевая вода и водоснабжение населенных мест. Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества. Гигиенические требования к обеспечению безопасности систем горячего водоснабжения. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы .
- Скорняков В. А. Учет распределения природных факторов и антропогенных нагрузок при оценке качества воды в реках // Проблемы гидрологии и гидроэкологии. М., 1999. Вып. 1. С. 238–261.
- Сорокин И. Н. Вынос вещества с водосборов // Изменение в системе «Водосбор-озеро» под влиянием антропогенного фактора. Л.: Наука, 1983. С. 56–62.
- Ткачев Б. П., Булатов В. И. Малые реки: современное состояние и экологические проблемы. Аналитический обзор / ГПНТБ СО РАН. Новосибирск, 2002. 114 с.
- Филенко Р. А. Воды Вологодской области . Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1966. 131 с.
- Филиппов Д. А. Гидрохимическая характеристика внутриболотных водоемов (на примере Шиченгского верхового болота, Вологодская область) // Вода: химия и экология. 2014. № 7 (73). С. 10–17.
- Филоненко И. В., Филиппов Д. А. Оценка площади болот Вологодской области // Труды Инсторфа. 2013. № 7 (60). С. 3–11.
- Фортунатов М. А. Цветность и прозрачность воды Рыбинского водохранилища как показатель его режима // Труды Института биологии водохранилищ АН СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1959. Вып. 2 (5). С. 246–357.
- Чернышев А. В. Индекс благополучия водосборных бассейнов рек как интегральный показатель условий формирования гидрологического режима территории // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. Т. 13. № 5–2. С. 244–249.
- Ясинский С. В. Формирование гидрологического режима водосборов малых равнинных рек: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук . М., 2009. 54 с.
- Jarvis A., Reuter H. I., Nelson A., Guevara E. Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90m. Database. 2008. URL: <http://www.srtm.csi.cgiar.org> (дата обращения: 05.02.2017).
- GlobalVisualizationViewer // USGS. U. S. Geological Survey. 2017. URL: <http://glovis.usgs.gov> (дата обращения: 05.02.2017).

## **Благодарности**

Авторы выражают благодарность М. Я. Борисову (Вологодское отделение ФГБНУ «ГосНИОРХ») за консультации, Д. А. Филиппову (ИБВВ РАН) за ценные советы при подготовке статьи, Д. И. Лавровой за помощь с переводом.

# ON THE IMPACT OF THE DEVELOPMENT OF THE VERKHNYAYA SUKHONA RIVER CATCHMENT AREA (THE VOLOGDA REGION) ON THE CHEMICAL COMPOSITION OF THE WATERS IN ITS TRIBUTARIES.

**IVICHEVA**  
**Ksenya Nikolaevna**

*State Research Institute of Lake and River Fisheries (GosNIORKh),  
ksenya.ivicheva@gmail.com*

**FILONENKO**  
**Igor Vladimirovich**

*State Research Institute of Lake and River Fisheries (GosNIORKh),  
igor\_filonenko@mail.ru*

## **Key words:**

Watersheds  
landscape  
anthropogenic load  
hydrochemical indicators

**Summary:** The aim of the investigation was to study the influence of anthropogenic burden on the catchment areas of the rivers in Vologda Region and to establish the dependence of the chemical composition of water on pollution sources in the rivers of the Verkhnyaya Sukhona basin. In the catchment areas hydro chemical samples were taken, population density was calculated as well as the automated and visual interpretation of the main elements of the landscape was carried out. At that, forests, populated areas, farmlands and other territories changed by economic activities were identified. An increase in the pollutants concentration in the catchment areas on drawing near the regional center was detected. The development of the catchment areas varies depending on the landscape pattern and on the proximity to the city of Vologda. The population density and the relative area of settlements and farmlands increase while approaching to the city, at the same time the ratio of forests decreases. The positive correlation dependence between the phosphate content and the relative size of farmlands was shown. The main source of pollutants in the catchment areas of the Verkhnyaya Sukhona basin is the presence of settlements and high population density. Under such conditions, high concentration of sodium, chlorine, nitrogen-containing compounds as well as permanganate oxidizability are observed in water.

**Reviewer:** N. A. Pavlova

**Reviewer:** E. V. Tekanova

**Received on:** 21 March 2017

**Published on:** 08 November 2017

## **References**

- Alyabina G. A. Sorokin I. N. The stock of substances in the catchment area, the conditions for their implementation and the flow to the catchment area, *Izmenenie v sisteme «Vodosbor-ozero» pod vliyaniem antropogennogo faktora*. L.: Nauka, 1983. P. 62–68.
- Andrianova A. B. Geo-ecological analysis of anthropogenic pressure on catchment and water basins. SPb., 2005. 22 p.
- Borisov M. Ya. Features of the «watershed-Lake Vozhe» system functioning and its impact on fish population. Petrozavodsk, 2006. 242 p.
- Borisov M. Ya. The change in the phosphorus content in the soils of the watershed of Lake Vozhe and its influence on eutrophication of the reservoir, *Vestnik NSO. Seriya «Fiziko-matematicheskie i estestvenno-nauchnye discipliny»*. Temat. vyp. «Issledovaniya biologicheskogo i landshaftnogo raznoobraziya Vologodskoy oblasti». Vologda: Rus', 2004. P. 8–13.
- Chernyshev A. V. The wellbeing index of catchment basins as integral indicator of forming hydrologic regime of the territory, *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossiyskoy akademii nauk*. 2011. T. 13. No. 5–2. P. 244–249.
- Drabkova V. G. Sorokin I. N. Lake and its catchment – a single natural system. L.: Nauka, 1979. 195 p.
- Drinking water and water supply of populated areas. Drinking water. Hygienic requirements for water

- quality of centralized drinking water supply systems. Quality control. Hygienic requirements for ensuring the safety of hot water systems. Sanitary and epidemiological rules and regulations. SanPin 2.1.4.1074-01.
- Filenko R. A. Waters of the Vologda region. L.: Izd-vo Leningr. un-ta, 1966. 131 p.
- Filippov D. A. Hydrochemical characteristics of mire water tracks (by the example of Shichenskoe raised bog, Vologda region), *Voda: himiya i ekologiya*. 2014. No. 7 (73). P. 10–17.
- Filonenko I. V. Filippov D. A. Estimation of the area of mires in the Vologda Region, *Trudy Instorfa*. 2013. No. 7 (60). P. 3–11.
- Fortunatov M. A. Color and transparency of the water of the Rybinsk Reservoir as an indicator of its regime, *Trudy Instituta biologii vodohranilisch AN SSSR*. M.; L.: Izd-vo AN SSS, 1959. Vyp. 2 (5). P. 246–357.
- Fundamentals of hydrochemistry. L.: Gidrometizdat, 1970. 442 p.
- GlobalVisualizationViewer, USGS. U. S. Geological Survey. 2017. URL: <http://glovis.usgs.gov> (data obrascheniya: 05.02.2017).
- Ivanov A. A. Mazurkin P. M. Ecological assesment of small rivers watersheds (by example of Marij El Republic). Yoshkar-Ola: MarGTU, 2007. 108 p.
- Ivicheva K. N. Filonenko I. V. Analysis of relation between water quality according to chemical indexes and water cathment area use, *Principy ekologii*. 2013. T. 2. No. 3 (7). P. 53–61. DOI: 10.15393/j1.art.2012.1061.
- Jarvis A., Reuter H. I., Nelson A., Guevara E. Hole-filled SRTM for the globe Version 4, available from the CGIAR-CSI SRTM 90m. Database. 2008. URL: <http://www.srtm.csi.cgiar.org> (data obrascheniya: 05.02.2017).
- Kireycheva L. V. Kozykeeva A. T. Dauletbay S. T. Estimation of the environmental sustainability of the river Shu watershed at its integrated engineering, *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal*. 2015. No. 9 (40). Ch. 3. P. 23–26.
- Kitaev S. P. Fundamentals of limnology for hydrobiologists and ichthyologists. Petrozavodsk: KarNC RAN, 2007. 395 p.
- Klementova E. Geynige V. Estimation of the environmental sustainability of agricultural landscapes, *Melioraciya i vodnoe hozyaystvo*. 1995. No. 5. P. 33–34.
- Koronkevich N. I. Zayceva I. S. Kitaev L. M. Negative hydroecological situations, *Izvestiya RAN. Ser. geogr.* 1995. No. 1. P. 43–52.
- Kurganovich N. A. Shalikovskiy A. V. The assesment of anthropogenic load on the river basins of Transbaikal Territory, *Vestnik ZabGU*. 2014. No. 10 (113). P. 4–10.
- Maksutova N. K. Landscapes of the Vologda region. Vologda, 2006. 56 p.
- Minullina A. A. Mustkimova I. V. Mavlyautdinova G. S. Calculation of various parameters of the small river basin condition (on the example of the river Stepnoy Zay), *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra Rossiyskoy akademii nauk*. 2010. T. 12. No. 1–4. P. 963–966.
- Natural zoning of the Vologda region for agricultural purposes. L: Severo-Zapadnoe kn. izd-vo, 1970. 258 p.
- Nature of Vologda region. Vologda: Izd. dom «Vologzhanin», 2007. 440 p.
- Nekontroliruemaya klassifikaciya izoklastera. URL: <http://resources.arcgis.com/ru/help/main/10.1/index.html#//009z000000pn000000> (data obrascheniya: 05.02.2017).
- Picil' A. O. Assessment of the removal of pollutants from non-point sources in urban areas, *Al'manah sovremennoy nauki i obrazovaniya*. 2013. No. 9 (76). P. 141–144.
- Report on the environmental situation in the Vologda region and the results of the Department's activities in 2011. Vologda, 2012. 69 p.
- Reymers N. F. Ecology (theory, laws, rules, principles and hypotheses). M.: Zhurnal «Rossiya Molodaya», 1994. 367 p.
- Savichev O. G. Influence of mires on hydrochemical runoff in the Middle Ob basin (within the Tomsk region), *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta*. 2005. T. 308. No. 3. P. 47–50.
- Skorniyakov V. A. Accounting for the distribution of natural factors and anthropogenic loads in assessing water quality in rivers, *Problemy gidrologii i gidroekologii*. M., 1999. Vyp. 1. P. 238–261.
- Sorokin I. N. Removal of matter from watersheds, *Izmenenie v sisteme «Vodosbor-ozero» pod vliyaniem antropogennogo faktora*. L.: Nauka, 1983. P. 56–62.
- Tkachev B. P. Bulatov V. I. Small rivers: current status and environmental problems. Analytical review, GPNTB SO RAN. Novosibirsk, 2002. 114 p.
- Yasinskiy S. V. Formation of hydrological regime of watersheds of small sluggish rivers. M., 2009. 54 p.