

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕКИ ЯХРОМЫ ПО ГИДРОХИМИЧЕСКИМ ПОКАЗАТЕЛЯМ

© 2017 г. Н.В. Кузнецова

*Дмитровский рыбохозяйственный технологический институт
Россия, 141821, Московская обл., Дмитровский р-он, пос. Рыбное, д. 36
E-mail: natashak.82@mail.ru*

Бассейн реки Яхромы отличается разнообразием ландшафтов и степенью хозяйственной освоенности, в связи с чем на протяжении реки прослеживаются различия в морфологии русла, гидрологических характеристиках, составе донных отложений и структуре сообществ зообентоса. Благодаря этим особенностям река Яхрома может служить модельным водоемом для исследования влияния различных видов хозяйственной деятельности на экосистемы малых рек. В работе представлены результаты исследований реки Яхромы, которые проводили в вегетационный период 2010-2015 гг. Дана пространственно-временная динамика основных гидрохимических показателей, а также материалы по содержанию в воде тяжелых металлов (Cu, Cd, Ni, Pb и Zn, Mn). Установлено, что в своем верхнем течении река Яхрома практически не подвергается влиянию хозяйственной деятельности, а в среднем и особенно в нижнем течении экологическое состояние реки существенно ухудшают стоки с урбанизированных и аграрных территорий.

Ключевые слова: река, гидрохимический режим, тяжелые металлы, донные отложения, водная растительность.

Возникший в последние годы интерес к изучению малых рек определяется тем, что малые реки являются исходным структурно и функционально образующим компонентом водосбора региона, непосредственно определяющим гидрологическую, гидрохимическую и во многом биологическую специфику крупных водоемов. Малые реки тесно связаны с окружающими наземными экосистемами, хозяйственное освоение которых ведет к необратимым изменениям окружающей среды и негативно отражается на гидрологическом режиме и качестве воды малых рек, что позволяет судить о состоянии территорий площадью до сотен квадратных километров. Поступающие в малые реки различные сточные воды зачастую сопоставимы по своему объему с объемом стока самой малой реки (Крылов, 2006).

Север Подмоскovie, Дмитровский район в частности, богат малыми реками, которые относятся к бассейну р. Волги и вносят свою толику воды в полноводную Волгу. Одной из таких малых рек является р. Яхрома, бассейн которой практически полностью располагается на территории Дмитровского района, отличающегося разнообразием ландшафтов, что отразилось на морфологии и гидрологии реки.

Река Яхрома при длине в 78 км имеет площадь бассейна 1437 км² (Вагнер, 2006) и, согласно принятой типологии, относится к малым рекам (Михайлов и др., 2007). Исток ее, расположенный на склонах Клинско-Дмитровской гряды, представляет собой место слияния двух ручьев, вытекающих из оврагов; летом реку питает множество родников (Вагнер, 2006). В верховьях река течет на север по узкой долине, течение быстрое – 0.5-0.6 м/с. В период половодья местами сильно разливается, протекая по глубокой лесистой местности. В 2 км от истока ширина русла колеблется от 2 до 4 метров, глубина незначительна – 0.3-1 м. Иногда ее крутые берега обрывисты и достигают внушительной высоты. В своем верхнем течении Яхромы находится в стадии морфологической молодости и часто именуется Верхней Яхромой, длина которой составляет 29 м.

Непосредственно перед каналом имени Москвы река зарегулирована плотиной Яхромского водохранилища, а в зоне подпора при ширине русла 6.3 м и глубине 1 м становится более полноводной.

Из Яхромского водохранилища река дюкером под каналом выводится на противоположную сторону канала и небольшим ручьем течет до места, где в нее впадает река Волгуша с собственным притоком – р. Икшанкой, которые делают Яхрому более полноводной; Яхрома приобретает характер равнинной реки. Уже с этого участка русла на протяжении всего среднего течения она оказывается в условиях существенного антропогенного загрязнения в виде ливневых стоков с автодорог и урбанизированных территорий, сточных вод (зачастую недоочищенных) очистных сооружений п. Деденево, городов Яхромы и Дмитрова.

В своем нижнем течении р. Яхрома протекает по обширной, до 8 км шириной, заторфованной котловине – «Яхромской пойме», по спрямленному руслу «новой Яхромы». Старое русло, заросшее камышом и местами высохшее, сперва огибает пойму по краю и, повернув, впадает в новое русло в районе с. Куликово. Помимо нескольких незначительных притоков, которые важны для питания реки главным образом в половодье, р. Яхрома в пределах поймы принимает дренажно-коллекторные воды с мелиорированных земель поймы, занятых агроценозами интенсивной технологии.

Таким образом, от своих истоков до устья эта малая река протекает в разных природных условиях, на которые накладывается антропогенное воздействие с изменяющимися на отдельных участках русла характером и интенсивностью.

Благодаря этим особенностям р. Яхрома может служить модельным водоемом для исследования влияния разных видов хозяйственной деятельности на экосистемы малых рек. Это определило наш интерес к экологическим исследованиям Яхромы, сведения по которой весьма малочисленны. В период 2010-2015 гг. были проведены детальные исследования экосистемы реки Яхромы, отдельные результаты которых представлены в настоящей работе.

Материалы и методы

Материал, положенный в основу работы, получен во время полевых исследований реки Яхромы в вегетационные периоды 2010-2015 гг. и камеральной обработки материалов. Исследования проводились от истоков до устья реки по 8 мониторинговым станциям и в своей совокупности призваны отражать исследуемые характеристики для реки и выделенных 4 участков (рис. 1). Первый участок характеризуют станции с 1 по 4.

1 станция. Здесь река протекает по лесу, в условиях видимого отсутствия антропогенного воздействия, при средней ширине русла 2 м и глубине не более 30 см скорость течения составляет 0.6 м/с. Грунт представлен крупнозернистым песком с галькой. Водная растительность отсутствует.

2 станция расположена примерно в 4 км от истока. Средняя ширина русла 4.5 м, глубина 30-40 см, скорость течения 0.5 м/с. Дно также представлено крупнозернистым песком. Водная растительность умеренно развита.

3 станция расположена в зоне подпора реки Яхромским водохранилищем, в районе курорта Сорочаны. При средней ширине русла 6.3 м и глубине 1.1 м скорость течения – 0.1 м/с, дно илистое. Водная растительность развита. Река протекает по территории, освоенной под коттеджные поселки и спортивно-рекреационные комплексы.

4 станция установлена в месте впадения р. Волгуши, которая существенно увеличивает сток р. Яхромы. Средняя ширина русла 6.2 м, глубина 1.3 м, а скорость течения 0.3 м/с, дно песчаное. Водная растительность развита. Территория занята поселениями, садово-огородническими участками и автодорогами.

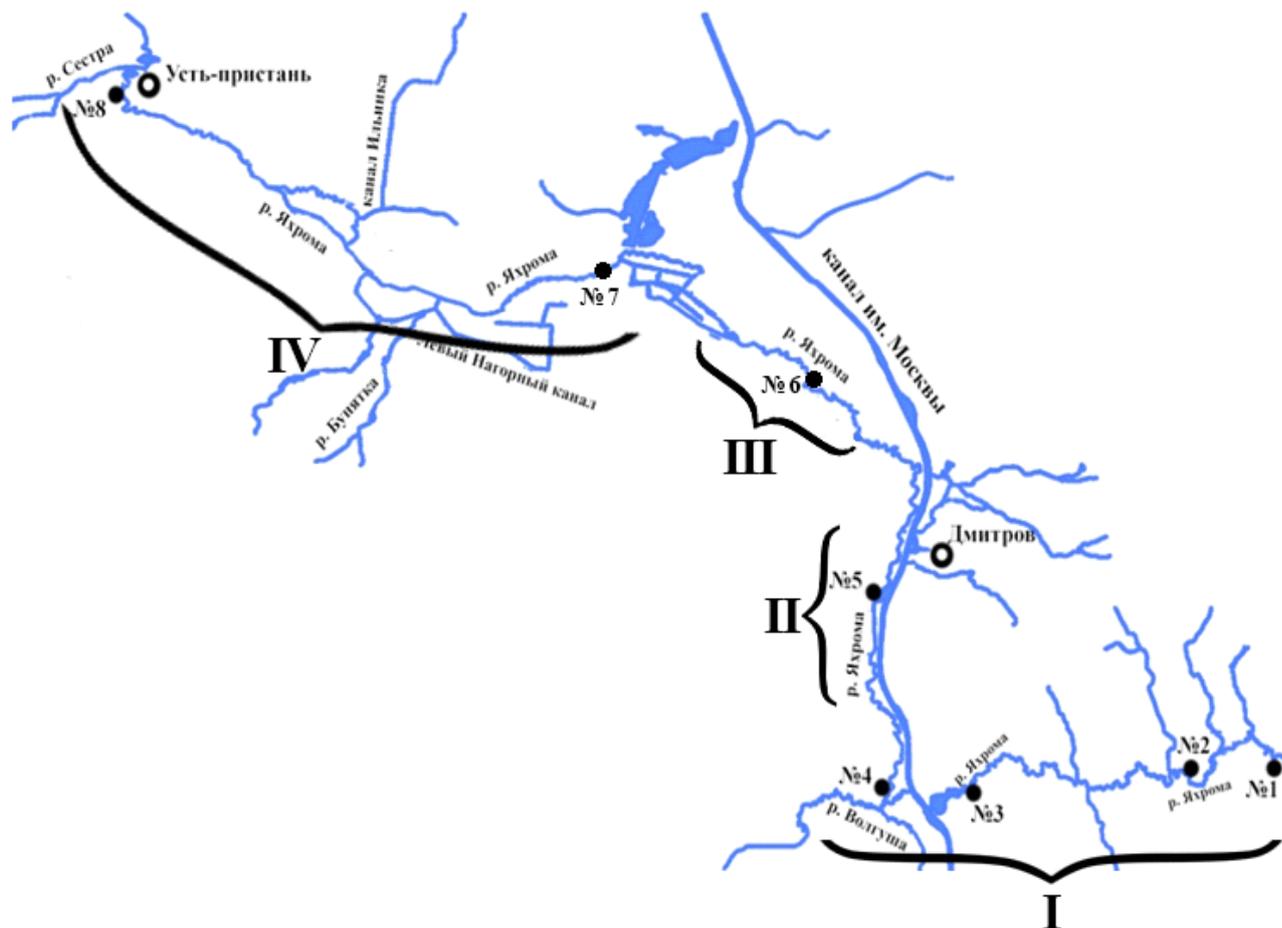


Рис. 1. Схема расположения станций на реке Яхроме. **Fig. 1.** Locations of observation stations on the river Yakhroma.

5 станция находится в районе г. Яхромы и лишь частично характеризует условия 2-го участка. Средняя ширина русла 7.7 м, глубина 50 см, скорость течения 0.9 м/с, дно песчано-каменистое, местами илистое. Водная растительность слабо развита. Для прилегающей территории характерно интенсивное движение автотранспорта и несанкционированный сброс сточных вод.

6 станция в значительной мере характеризует 3-ий участок реки и располагается ниже г. Дмитрова, перед вхождением реки в Яхромскую пойму. Средняя ширина русла составляет 7.5 м, глубина 1.1 м, скорость течения 0.25 м/с, дно илистое. Водная растительность умеренно развита. На этом участке в реку поступают стоки с очистных сооружений г. Дмитрова и периодические несанкционированно сбрасываемые с предприятий неочищенные сточные воды (по-видимому, смешанные производственно-бытовые). Имеет место и загрязнение реки бытовыми отходами.

7 и 8 станции принадлежат 4-му участку, который занимает нижнее течение реки в пределах мелиорированной Яхромской поймы и предустьевого участка.

7 станция – участок спрямленного и расширенного русла, где река принимает коллекторные воды с мелиорированной территории поймы. Ширина русла 18 м, глубина 1.1 м, скорость течения 0.2 м/с, дно илистое. Водная растительность развита хорошо.

8 станция расположена в предустьевом участке реки (д. Усть-Пристань). Средняя

ширина русла 10.6 м, глубина 1.53 м, скорость течения 0.2 м/с, дно илистое. Водная растительность обильно развита. Высока вероятность загрязнения реки с территории поселений.

На каждой станции измеряли температуру воды, рН и общую минерализацию с помощью портативного рН-метра Hanna, содержание растворенного в воде кислорода – термооксиметром МАРК 2. Отбор проб воды для гидрохимического анализа проводили в соответствии с ГОСТ Р 51592-2000 ... (2010).

Химические анализы воды по показателям: азот аммонийный, нитриты, нитраты, фосфаты, перманганатная окисляемость, хлориды, общая жесткость, сульфаты – проводили по аттестованным методикам (Новиков, Ласточкин, 1990).

На основании данных химических анализов воды р. Яхромы был проведен расчет индекса загрязненности вод (ИЗВ), по которому определяется класс качества воды (Методические рекомендации ..., 1988).

ИЗВ рассчитывали по формуле:

$$ИЗВ = \frac{\sum_{i=1}^6 \frac{C_i}{ПДК_i}}{6} \quad (1),$$

где C_i – среднее за год значение i -го показателя, а $ПДК_i$ – предельно допустимая концентрация загрязняющего вещества.

Определение содержания нефтепродуктов проводили по аттестованной методике – экстракционно-фотометрическим методом на анализаторе содержания нефтепродуктов «АН-2» (Методика измерений массовой концентрации ..., 2011).

Вода и донные отложения подвергли анализу на содержание тяжелых металлов (Cd, Pb, Cu, Zn, Ni). Анализы выполнены методом атомно-абсорбционной спектроскопии, основанном на способности свободных невозбужденных атомов поглощать (абсорбировать) свет строго определенных и специфических для каждого типа атомов длин волн. Анализ образцов на содержание тяжелых металлов проводили на атомно-абсорбционном спектрофотометре «КВАНТ-2А».

Результаты и обсуждения

Вдоль русла реки Яхромы гидрохимические показатели воды изменялись в зависимости от типа и интенсивности антропогенного воздействия.

Режим растворенного в воде кислорода. Режим растворенных газов в реке обусловлен изменением в течение года температуры воды, интенсивности процессов фотосинтеза и окисления органического вещества, питания реки, скорости течения, объема водного стока (Экосистема малой реки ..., 2007).

Для р. Яхромы в вегетационный период в целом характерен благоприятный кислородный режим. Весной на всем протяжении реки отмечались максимальные для вегетационного сезона величины содержания растворенного в воде кислорода, которое не опускалось ниже 9 мгО₂/дм³ (9.1-9.6 мгО₂/дм³), лишь на 4-ом участке концентрации кислорода были несколько ниже – 7.6-8.1 мгО₂/дм³ (рис. 2). Летом в пределах 1-2 участков реки содержание кислорода оставалось в пределах 8.4-9.2 мгО₂/дм³. На 3-ем участке этот показатель снизился до 7.3 мгО₂/дм³, однако зачастую содержание в воде кислорода резко падает, когда одноименный ручей привносит в реку неочищенные сточные воды с очистных сооружений г. Яхромы. В пределах 4-го участка содержание кислорода в воде составило 6.3-6.5 мгО₂/дм³. Осенние показатели в пределах 1-2 участков лишь немногим уступают весенним, но несколько превышают летние, имея по сравнению с ними большую выравненность. Для 3-4 участков показатели по кислороду практически идентичны летним.

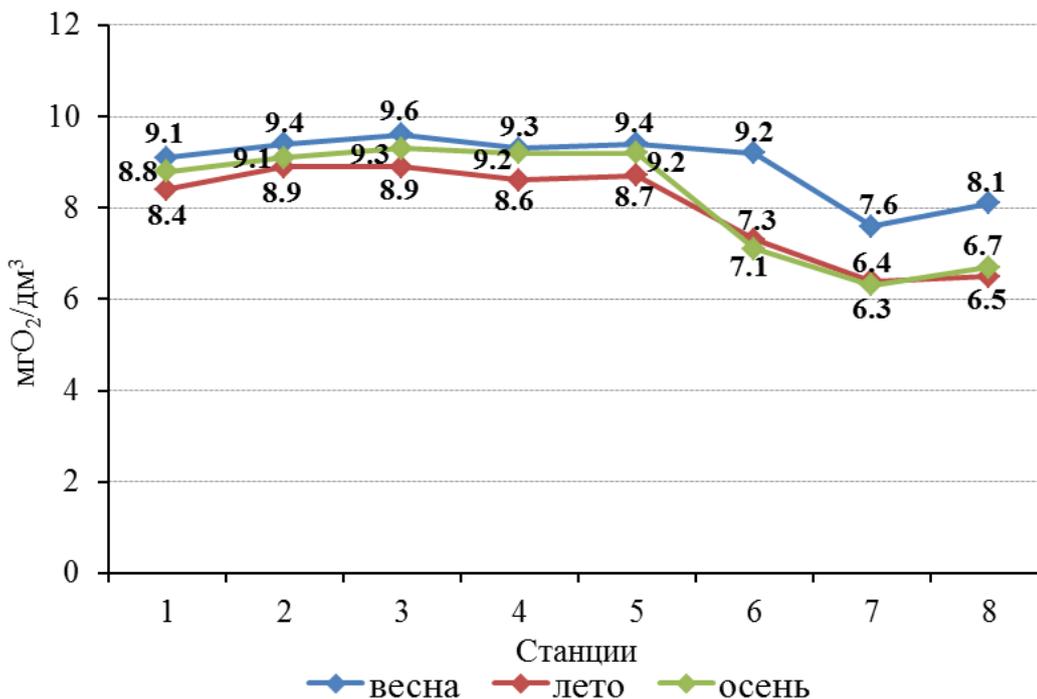


Рис. 2. Значения растворенного кислорода в воде р. Яхромы (мгО₂/дм³). **Fig. 2.** Math values of the oxygen, dissolved in the river Yakhroma's water (mgO₂/dm³).

Перманганатная окисляемость. Природные воды всегда содержат то или иное количество органического вещества, образовавшегося в водоеме и поступившего с водосбора, а также со сточными водами. Перманганатная окисляемость характеризует содержание в воде легко окисляемых органических веществ и позволяет судить о степени органического загрязнения вод. Величина перманганатной окисляемости равнинных рек, не подвергающихся значительному органическому загрязнению, колеблется в пределах 5-12 мгО₂/дм³ (Новиков, Ласточкин, 1990).

За время исследований р. Яхромы в вегетационный период перманганатная окисляемость воды колебалась в широких пределах – от 1.2 мгО₂/дм³ во время половодья в истоках до 11.5 мгО₂/дм³ в предустьевом участке.

Первый участок в вегетационный период характеризовался относительно малыми показателями окисляемости воды – в пределах 1.1-3.5 мгО₂/дм³ (рис. 3), что определяется не только относительно высокими скоростями течения и характером донных отложений, но и малым наличием источников органического загрязнения на водосборе. На этом участке средняя окисляемость возрастает с 1.2-1.7 мгО₂/дм³ в половодье до 1.6-3.2 мгО₂/дм³ в межень, но осенью благодаря осадкам понижается до 1.1-2.3 мгО₂/дм³, лишь в истоках оставаясь на уровне 3.5 мгО₂/дм³. Ниже по течению окисляемость воды в реке начинает увеличиваться. На 2-ом участке в пределах города весной и летом окисляемость была в 3.0-3.2 мгО₂/дм³, осенью снизилась до 2.5 мгО₂/дм³. Вероятно, спрямленное русло и относительно более высокая скорость течения способствовали сохранению низких показателей окисляемости.

Ниже по течению, на 3-ем участке, весной перманганатная окисляемость лишь немногим превышала этот показатель для 2-го участка, но летом возросла до 4.3 мгО₂/дм³, а осенью снизилась до 2.5 мгО₂/дм³. Столь низкие величины окисляемости на участке реки с весьма явным антропогенным загрязнением, вероятно, объясняются активным участием в процессах самоочищения реки макрофитов, имеющих здесь большое количественное развитие.

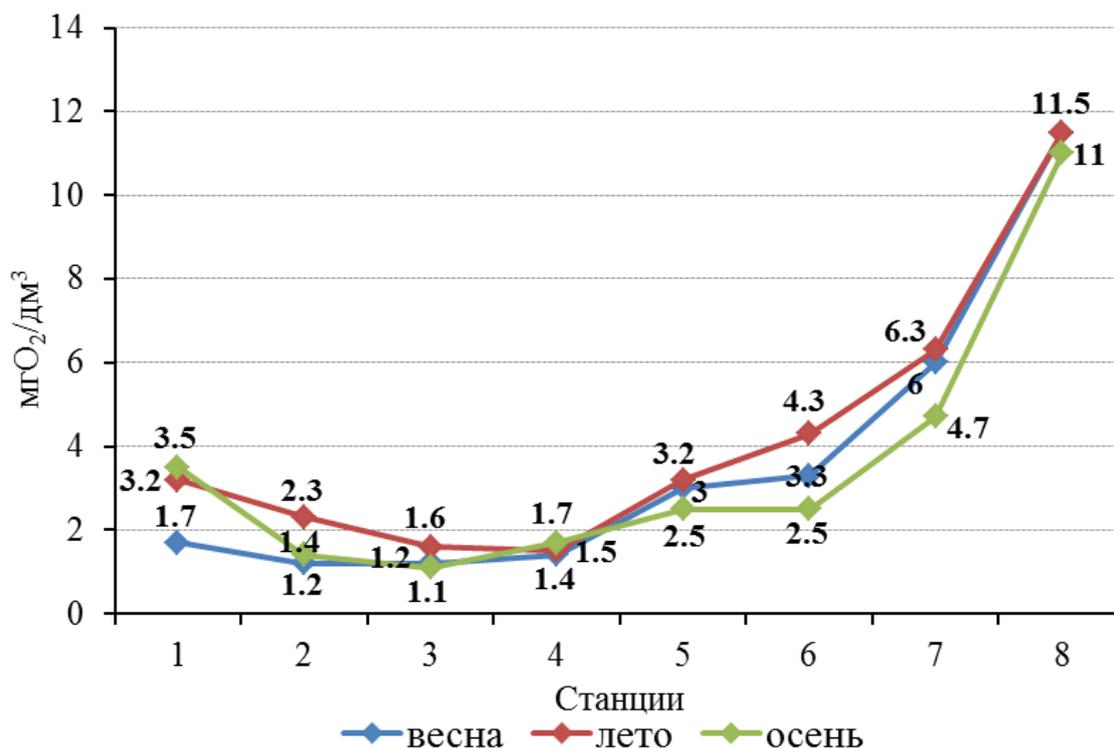


Рис. 3. Значения перманганатной окисляемости в воде р. Яхромы. **Fig. 3.** Math values of the permanganate oxidation in the river Yakhroma's water.

Совершенно иная картина сложилась на участке реки в пределах Яхромской поймы: в зоне влияния дренажно-коллекторных стоков максимальные величины перманганатной окисляемости отмечались летом – 6.3 мгО₂/дм³, осенью они снизились до 4.7 мгО₂/дм³, но весной вновь возросли до 6.0 мгО₂/дм³. Относительно высокие величины окисляемости связаны с влиянием стоков с агроценозов. Максимальные величины перманганатной окисляемости отмечались в предустьевом участке реки – 11.0-11.5 мгО₂/дм³, что, вероятно, связано с органическими загрязнениями с территорий близлежащих животноводческих ферм. В целом для р. Яхромы загрязнение легко окисляемым органическим веществом незначительное, если учесть, что перманганатная окисляемость равнинных рек, не подвергающихся значительному органическому загрязнению, бывает в пределах 5-12 мгО₂/дм³ (Новиков, Ласточкин, 1990).

Минерализация и рН. На большей части Московского региона вода в малых реках имеет гидрокарбонатно-кальциевый состав с минерализацией 0.4-0.5 г/дм³ (Экологическое состояние ..., 2003).

Вода р. Яхромы относится к водам со средней минерализацией, по соотношению основных ионов к гидрокарбонатному классу группы кальция. На протяжении всего периода исследования средняя минерализация воды по отдельным участкам реки колебалась в пределах 400-590 мг/дм³ (рис. 4).

Минимальная величина минерализации воды характерна для истоков реки, далее по течению минерализация возрастает, имея максимальные значения в пределах урбанизированной территории и мелиорированной Яхромской поймы. Возрастание минерализации воды в среднем и нижнем течении реки шло за счет увеличения содержания сульфат-ионов и хлор-ионов, поступающих со сточными водами городов Яхрома и Дмитров. С территории мелиорированной поймы, занятой агроценозами и поселениями, дренажные воды и поверхностный сток также поставляют сульфат- и хлор-ионы.

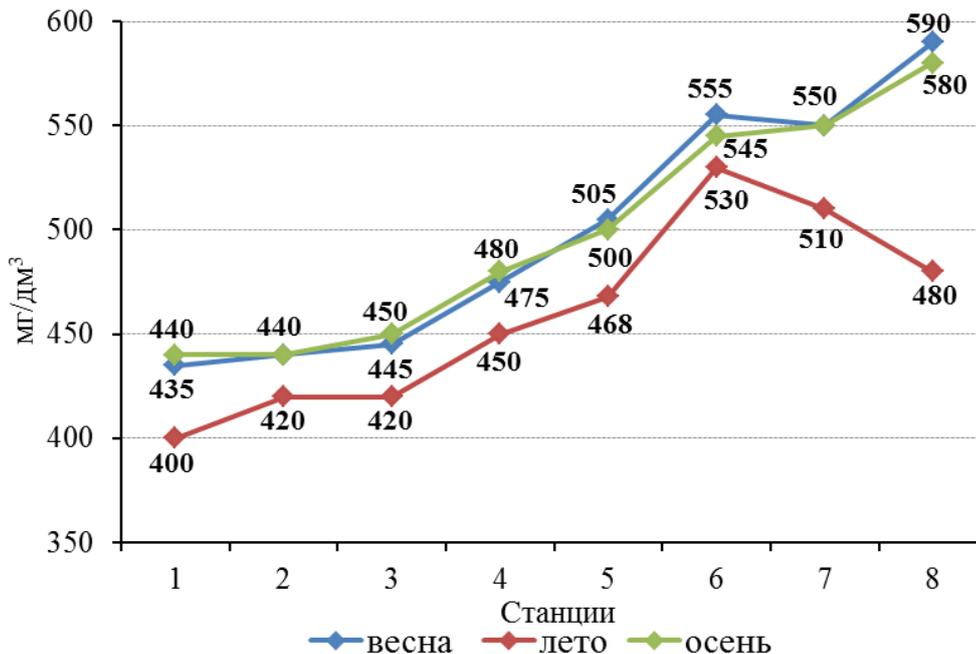


Рис. 4. Минерализация воды р. Яхромы. **Fig. 4.** An average mineralization of the river Yakhroma's water.

В сезонном аспекте летом можно наблюдать более низкие величины минерализации воды в реке. В весенние и осенние периоды минерализация возрастает на всем протяжении реки практически одинаково для обоих сезонов.

В годы исследований содержание хлор-ионов в воде р. Яхромы в вегетационный период было в пределах 10.3-50.5 мг/дм³, при этом значительных различий по годам не прослеживалось (рис. 5).

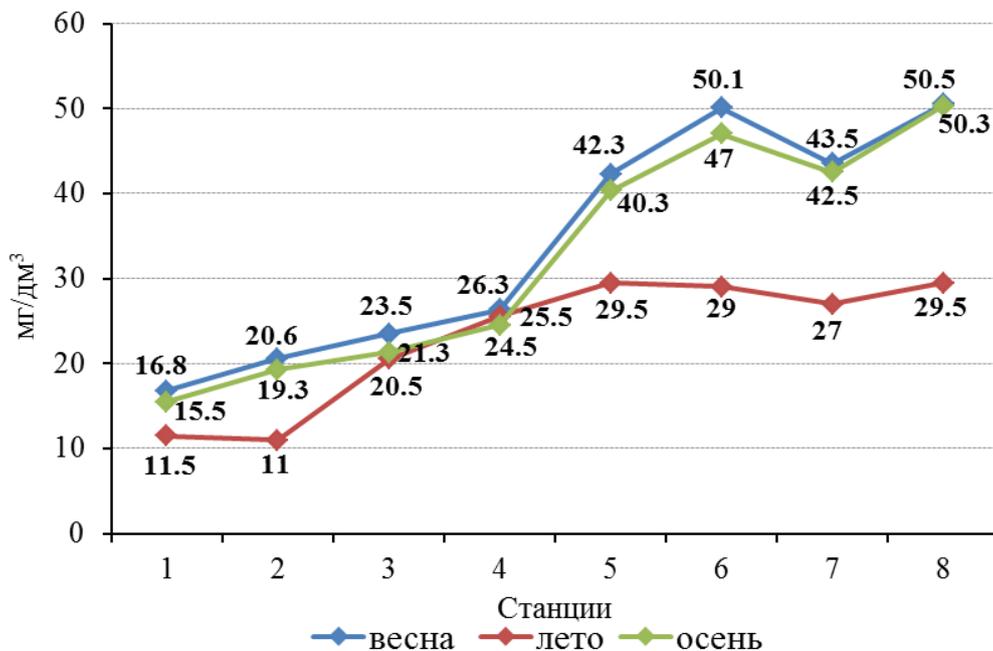


Рис. 5. Содержание хлоридов в воде р. Яхромы. **Fig. 5.** Chlorides content in the river Yakhroma's water.

Максимальные величины характерны для нижнего течения за весь период исследований. Летом при росте концентрации хлор-иона от истоков к устью даже в нижнем течении реки содержание его не поднималось выше 29 мг/дм^3 . Весной и осенью концентрации хлор-иона в воде уже в верхнем течении выше, чем летом, и вниз по течению прослеживается возрастание содержания его с максимумом в пределах нижнего течения; вероятно, это связано с тем, что хлор-ион почти полностью остается в составе речной воды, так как не образует труднорастворимых солей с обычно присутствующими в речной воде катионами, не накапливается биогенным путем и не сорбируется (Экосистема малой реки ..., 2007).

Средние за период наблюдений концентрации сульфатов в воде р. Яхромы составляли $8\text{--}61 \text{ мг/дм}^3$ при минимальных значениях в верховье реки и максимальных в нижнем течении за весь период наблюдений (рис. 6).

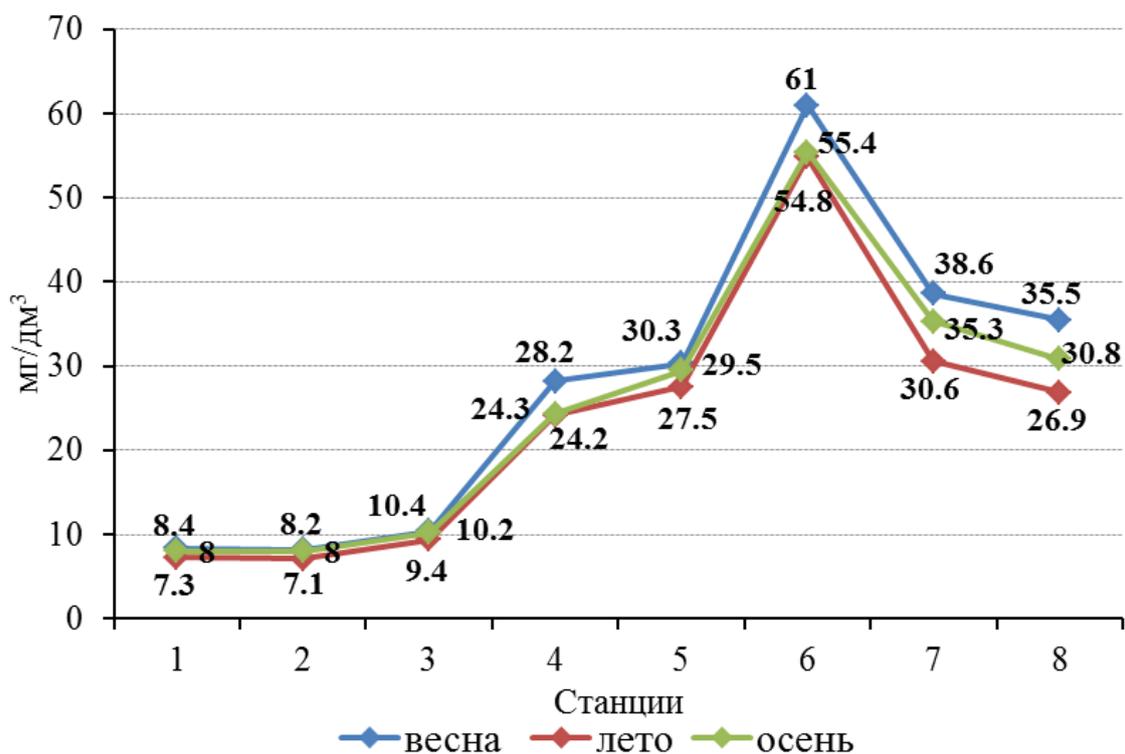


Рис. 6. Содержание сульфатов в воде р. Яхромы. **Fig. 6.** Sulphates content in the river Yakhroma's water.

Максимальными концентрациями сульфатов в воде в течение всего периода вегетации (в пределах $54.8\text{--}61 \text{ мг/дм}^3$) выделяется участок реки в месте впадения р. Березовец, которая принимает сточные воды с очистных сооружений г. Дмитрова.

В пределах Яхромской поймы содержание сульфатов в воде заметно снижается. Значимых различий в содержании сульфатов в воде в сезонном аспекте не наблюдалось.

Вода в реке Яхрома имеет слабощелочную реакцию рН (в пределах $7.5\text{--}8.4$) с тенденцией к снижению величины рН во время весеннего половодья, что характерно для малых рек Подмосковья. Максимальные величины рН отмечались в осенний период в зоне подпора водохранилищем и на третьем участке в районе сброса вод с очистных сооружений канализации г. Дмитрова.

Жесткость воды. В своей работе Б.Б. Вагнер и И.В. Клевкова (2003) отмечают, что жесткость речных вод в Подмосковье изменяется от 1.5 ммоль/л весной до $3\text{--}5 \text{ ммоль/л}$ в

летнюю межень и до 6-7 ммоль/л в зимний период.

По величине общей жесткости различают воду: очень мягкая (до 1.5 ммоль/л), мягкая (1.5-4 ммоль/л), средней жесткости (4-8 ммоль/л), жесткая (более 8-12 ммоль/л), очень жесткая (более 12 ммоль/л).

Река Яхрома отличается от других рек Подмосковья относительно большими величинами жесткости воды. Весной в период большой воды жесткость на разных участках р. Яхромы держалась в пределах 6.2-7.8 ммоль/л, что соответствует средней жесткости. В летний и осенний периоды жесткость воды в реке была в пределах 6.4-8.4 ммоль/л. Меньшие показатели жесткости воды (6.4-7.2 ммоль/л) наблюдали на 1-ом участке, а ниже по течению, в пределах урбанизированных территорий г. Яхромы, г. Дмитрова и других поселений, показатели жесткости воды увеличились до 8-8.4 ммоль/л, что соответствует жесткой воде. На 4-ом участке, в пределах мелиорированной Яхромской поймы, жесткость оставалась на уровне 7.8-8.0 ммоль/л. Река Яхрома при выходе с мелиорированной поймы в долину реки Сестры принимает стоки с заболоченной территории, что определяет снижение жесткости воды в предустьевом участке реки до 6.6-6.8 ммоль/л. В целом по приведенной ранее классификации вода реки Яхромы относится к водам со средней жесткостью.

Биогены. Для малых рек источником биогенных элементов являются сточные воды населенных мест, прежде всего стоки с очистных сооружений, а также с земель агроценозов с интенсивной агротехникой. В малых реках, куда стекают воды с пашен и сточные воды населенных мест, содержание нитратов может достигать 5-10 мг/дм³. Для рыбохозяйственных водоемов предельно допустимая концентрация (ПДК) нитратных ионов равна 40 мг/дм³ (Нормативы качества воды водных объектов ..., 2010).

Содержание нитритных ионов в речной воде более низкое, чем нитратных (до 0.01 мг/дм³), и только в загрязненных реках оно может повыситься до 0.05 мг/дм³, редко выше. ПДК нитритных ионов для рыбохозяйственных водоемов равно 0.08 мг/дм³.

Для водных объектов рыбохозяйственного назначения предельно допустимая концентрация (ПДК) ионов аммония 0.5 мг/дм³. Увеличение концентрации аммонийного азота обычно является показателем свежего загрязнения. Концентрация неорганических соединений фосфора в реке обычно не превышает 0.05-0.1 мг/дм³ (Моржухина, 2000).

Воздействие факторов, определяющих содержание минерального азота и фосфора в реке, изменчиво во времени и пространстве, потому в годы наших исследований режим биогенов в р. Яхроме различался, особенно в пределах урбанизированной и сельскохозяйственной территорий.

За вегетационный период концентрация ионов аммония в воде на всем протяжении первого участка р. Яхромы изменялась незначительно и держалась в пределах 0.1-0.4 мг/л, концентрация нитрит-ионов была на уровне 0.008-0.03 мг/л. Заметных различий между этими показателями по годам не отмечено.

Столь пониженные значения концентрации ионов аммония и нитрит-ионов на первом участке реки Яхромы определяются практически полным отсутствием органического загрязнения данного участка.

Содержание нитрат-ионов в воде на первом участке в основном незначительное – в пределах 3.0-10.0 мг/дм³ (рис. 7) при максимуме весной, что, вероятно, связано с поступлением ливневого стока с приусадебных участков населенных пунктов.

Содержание фосфат-ионов в воде на первом участке реки весьма незначительное – в пределах от 0.01-0.03 мг/дм³ в истоках и до 0.03-0.08 мг/дм³ в конце участка (рис. 8).

На втором участке реки лишь в самом его начале концентрация всех трех форм азота изменяется незначительно по сравнению с нижней третью первого участка, но уже в конце участка в условиях урбанизированной территории прослеживается их увеличение: аммонийного азота – 0.5-1.2 мг/дм³, нитритов – 0.02-0.07 мг/дм³, нитратов – при 5.0 мг/дм³

весной, 25.0 и 23.0 мг/дм³ летом и осенью соответственно.

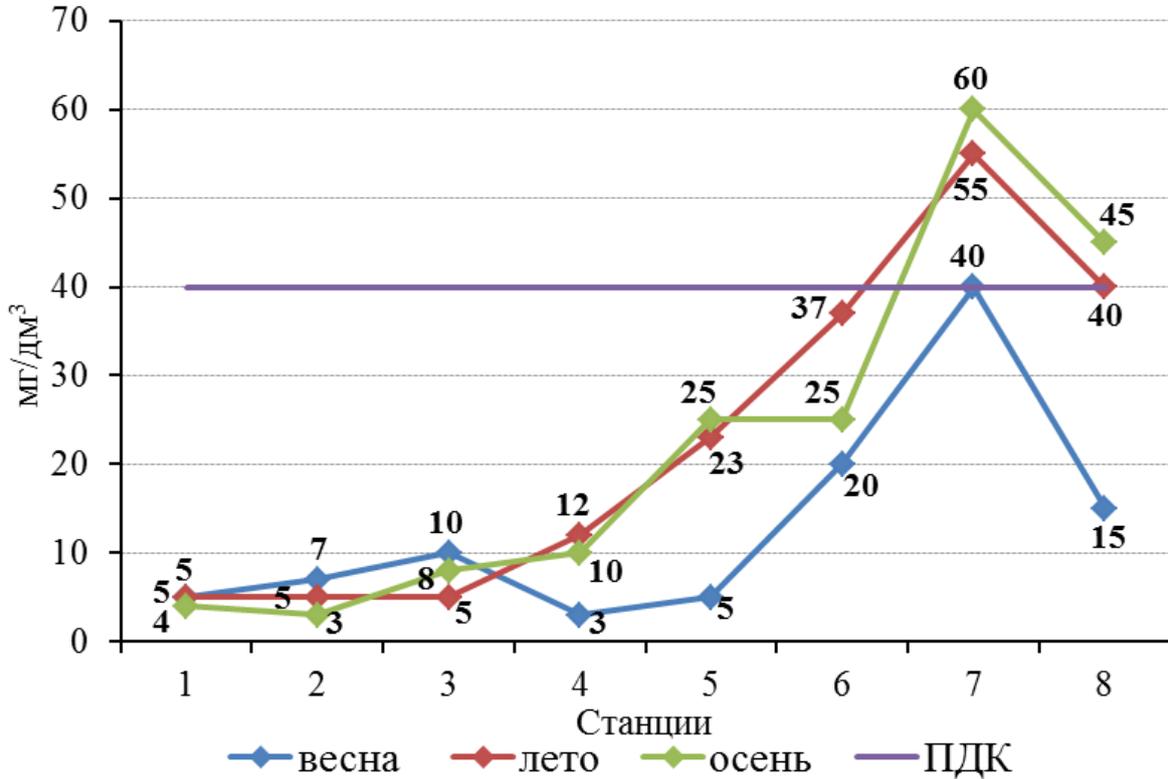


Рис. 7. Содержание нитрат-ионов в воде р. Яхромы. **Fig. 7.** Oil products content in the river Yakhroma's water.

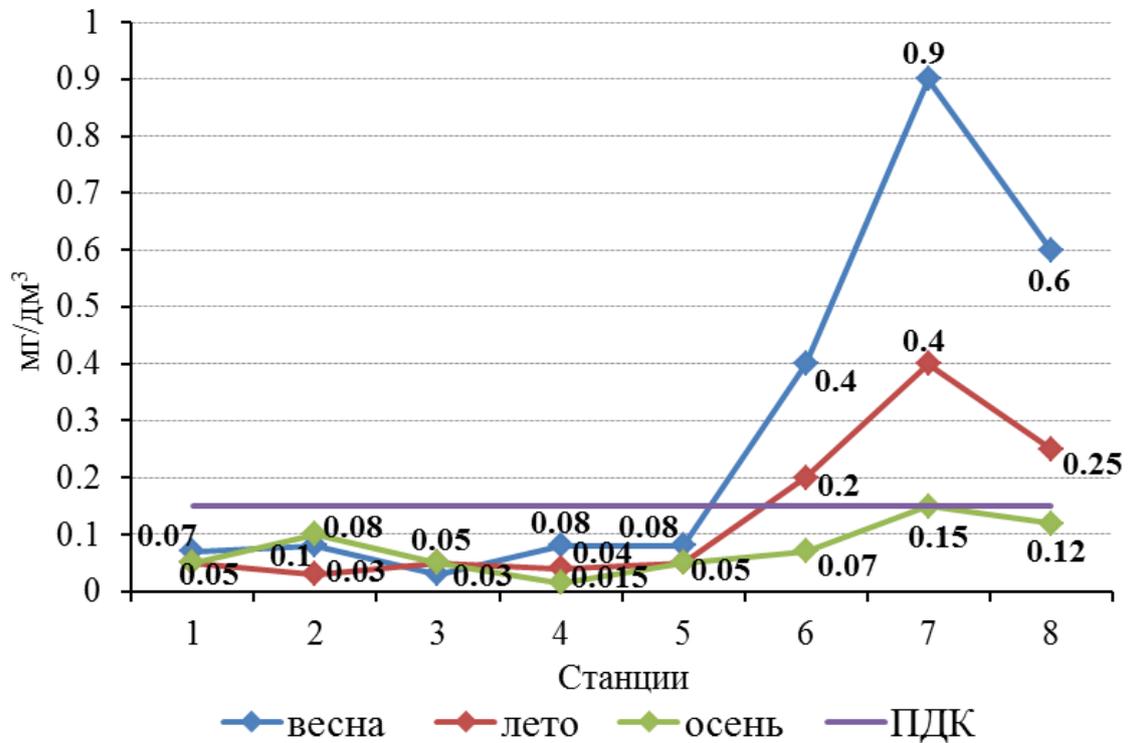


Рис. 8. Содержание фосфат-ионов в воде р. Яхромы. **Fig. 8.** Phosphates content in the river Yakhroma's water.

Концентрация фосфат-ионов в воде на втором участке, как и на первом, была достаточно низка – в пределах 0.05-0.08 мг/дм³ и не превышала ПДК.

В пределах третьего и четвертого участков р. Яхромы четко прослеживается пространственно-временная динамика минеральных форм азота и фосфора.

На третьем участке весной талые воды сходят с урбанизированной территории водосбора, в связи с чем установлено повышение концентрации в воде всех трех форм азота: ионов аммония 1.5 мг/дм³, нитритов – 0.06 мг/дм³, нитратов – 20.0 мг/дм³. Летом в воде по-прежнему сохраняются относительно высокие концентрации ионов аммония – 1.4 мг/дм³, содержание нитрит-ионов увеличивается до 0.1 мг/дм³, нитрат-ионов – до 37.0 мг/дм³. Здесь явно прослеживается влияние стоков с городских очистных сооружений, а также поступления рассредоточенного стока с территорий неканализованных сельских населенных пунктов. В частности, в стоках с очистных сооружений г. Дмитрова содержание нитратов в летний период было в пределах 73.2-76.6 мг/дм³.

Содержание фосфат-ионов в пределах третьего участка реки по сравнению с верхним течением весной и летом возрастает на порядок, составляя 0.4 мг/дм³ и 0.2 мг/дм³ соответственно, но осенью снижаясь до 0.07 мг/дм³. Полагаем, что столь относительно высокие концентрации фосфат-ионов в реке являются результатом поступления стоков с городских очистных сооружений. На 4-ом участке, в пределах мелиорированной поймы, дренажно-коллекторные и ливневые стоки с агроценозов определили высокие концентрации всех трех форм азота: ионов аммония 3-5 мг/дм³ при максимуме осенью, нитритов – 0.06-0.2 мг/дм³ при максимуме летом, нитратов от 40 мг/дм³ весной до 60 мг/дм³ осенью. Здесь же весной отмечена и максимальная концентрация фосфат-ионов в воде, равная 0.9 мг/дм³; летом этот показатель снизился до 0.4 мг/дм³, осенью – до 0.15 мг/дм³. В предустьевой части концентрация всех трех форм азота была несколько ниже по сравнению с ними же, но выше по течению, в пределах мелиорированной поймы, при сохранении картины временной динамики.

Таким образом, пространственная динамика основных гидрохимических показателей позволяет судить о том, что р. Яхромы на первом и частично на втором участках протекает в условиях незначительного антропогенного воздействия, на третьем и особенно четвертом участках проявляются результаты антропогенного воздействия в виде стоков с урбанизированных территорий и агроценозов.

Содержание тяжелых металлов в воде. Загрязнение водных объектов тяжелыми металлами связано с их широким использованием в промышленности, особенно при неудовлетворительной очистке сточных вод, в результате чего тяжелые металлы попадают в водные экосистемы (Манихин, Никаноров, 2001).

По данным Н.А. Черных и М.М. Овчаренко (2002) известно, что миграция химических элементов в биосфере осуществляется и воздушным переносом. В атмосферном воздухе тяжелые металлы присутствуют в форме органических и неорганических соединений в виде пыли и аэрозолей. Основные механизмы поступления металлов из атмосферы на поверхность Земли – это осаднения с атмосферными осадками и сухие выпадения. Установлено, что в снеговых осадках накапливаются тяжелые металлы. Основная часть таких металлов, находящихся в снеговом покрове, растворяется в снеговой воде, то есть переходит в подвижную форму. В таком виде металлы попадают в поверхностные и подземные воды (Лыков, Шестакова, 2005).

Одним из главных источников поступления тяжелых металлов в водные экосистемы является диффузионный сток с агроценозов интенсивной агротехники, использующих удобрения и пестициды, в состав которых входят тяжелые металлы. Так, источником цинка и меди может быть навоз; свинца и никеля – фосфорные удобрения и известь; кадмия – фосфорные и калийные удобрения (Ревич, Авалиани, 2004). Общепризнано, что наибольшее

количество тяжелых металлов среди минеральных удобрений содержат фосфорные, наименьшее – азотные удобрения; калийные удобрения близки к азотным, но содержат примерно в 20 раз больше свинца (Черных, Овчаренко, 2002).

В литературе имеются конкретные примеры количественной оценки поступления тяжелых металлов с сельхозугодий. В частности, Т.И. Моисеенко (2009) приводит по материалам лизиметрических исследований на сельхозугодиях водосборной площади Ивановского водохранилища оценку возможного выноса тяжелых металлов (марганец, медь, цинк, хром, никель, свинец) с речным стоком в водохранилище. Вынос металлов с пахотных сельхозугодий составляет 109.5 т для Zn, 3778 т для Cu, 1179 т для Mn.

В водных объектах тяжелые металлы присутствуют в трех формах: взвешенной, коллоидной и растворенной, последняя из которых представлена свободными ионами и растворимыми комплексными соединениями с органическими и неорганическими лигандами (Мур, Рамамурти, 1987).

Анализы пресных поверхностных вод на содержание тяжелых металлов не всегда дают полноценную оценку их загрязнения в связи с высокой динамичностью состава, дискретностью поступления загрязнителей, а также в связи с тем, что тяжелые металлы способны быстро переходить из растворенного состояния во взвесь (Линник, Набиванец, 1986).

Благодаря процессам адсорбции на взвешенных частицах и последующей их седиментации тяжелые металлы обладают активной способностью накапливаться в донных отложениях. Под влиянием физико-химических (снижение рН и окислительно-восстановительного потенциала на границе раздела фаз «донные отложения – вода», дефицит растворенного кислорода в водной толще и др.) и микробиологических процессов, протекающих в водоемах, донные отложения могут выступать в качестве потенциального источника вторичного загрязнения водной массы (Линник, 1999).

Отсутствие значимых различий в результатах анализов воды р. Яхромы на содержание ионов тяжелых металлов (Cd, Pb, Cu, Zn, Ni), проведенных в период исследований, дает основание рассматривать пространственно-временную динамику тяжелых металлов в реке по осредненным величинам за период исследований (табл. 1).

Таблица 1. Содержание тяжелых металлов в воде р. Яхромы (мг/дм³). **Table 1.** Content of heavy metals in the river Yakhroma's water.

Металл	I участок	II участок	III участок	IV участок	ПДК _{рв}
Cd	0-0.003	0.002-0.003	0.001-0.002	0.002-0.005	0.005
Pb	0-0.006	0.018-0.026	0.001-0.006	0.003-0.015	0.006
Cu	0-0.002	0.001-0.003	0-0.002	0.002-0.005	0.001
Zn	0.006-0.076	0.005-0.006	0.008-0.011	0.015-0.081	0.01
Ni	0-0.057	0.001-0.007	0-0.007	0-0.006	0.01

Содержание кадмия в поверхностных водах практически всегда незначительное и редко превышает ПДК_{рв}, равной 0.005 мг/дм³ (Нормативы качества воды ..., 2010). В пресноводных водоемах и реках содержание кадмия колеблется в пределах 0.0002-0.0004 мг/дм³. Фоновое загрязнение поверхностных вод кадмием, по данным наблюдений в Волжско-Камском биосферном заповеднике в 2012 году составило 0.00016 мг/дм³ (Обзор состояния ..., 2013).

В р. Яхроме содержание кадмия в вегетационный период на всех исследуемых участках колебалось в пределах от нуля до 0.005 мг/дм³. Минимальные концентрации кадмия

отмечались на первом участке (в течение всего вегетационного периода). В то же время, начиная со второго участка, в зоне влияния сточных вод с очистных сооружений г. Яхромы и ниже по течению вплоть до устья, содержание кадмия заметно возрастает, но не достигает ПДК_{вр}. Максимальная концентрация кадмия – 0.005 мг/дм³ отмечена в пределах четвертого участка, в мелиорированной Яхромской пойме (табл. 1).

Содержание свинца в незагрязненных водах суши, как правило, не превышает 0.003 мг/дм³ (Черных, Овчаренко, 2002). Фоновое загрязнение поверхностных вод свинцом, по данным наблюдений в Волжско-Камском биосферном заповеднике в 2012 году, составило 0.0015 мг/дм³ (Обзор состояния ..., 2013).

Содержание свинца в воде весной на рассматриваемых участках р. Яхромы колебалось в пределах 0-0.026 мг/дм³ (табл. 1); на участке с песчаным дном в месте впадения р. Волгуши, характеризующимся песчаным дном и удаленностью от автодорог свинец в воде не отмечен. В начале первого участка реки концентрация свинца составила 0.002 мг/дм³, ниже по течению в районе курорта Сорочаны она возросла до 0.006 мг/дм³, что соответствует ПДК_{вр} и определяется смывом с близко пролегающей автодороги. На втором участке реки после впадения ручья со сточными водами с очистных сооружений г. Яхромы содержание свинца в воде резко возросло до 0.026 мг/дм³, что соответствует 5.1 ПДК_{вр}. В данном конкретном случае возрастание концентрации свинца в воде реки обусловлено не только влиянием сточных вод, но и автотранспорта. Доказательством этому служит значительно меньшее содержание свинца в воде – 0.006 мг/дм³, на третьем участке реки в районе сброса вод с очистных сооружений г. Дмитрова, где отсутствует ливневый сток с автодороги. Ниже по течению уже в пределах мелиорированной Яхромской поймы содержание свинца не превышало ПДК_{вр}, но в предустьевом участке реки возросло до 0.015 мг/дм³, что соответствует 2.5 ПДК_{вр} и связано с поступлением ливневых вод с автодороги.

Летом содержание свинца на всех участках реки, за исключением второго участка в зоне влияния сточных вод очистных сооружений г. Яхромы, снизилось по сравнению с весной и не превышало ПДК_{вр}, но при этом сохранялась относительная картина распределения содержания свинца по течению реки, отмеченная для весны. По-прежнему содержание свинца на этом участке относительно высокое – 0.02 мг/дм³, что соответствует 4 ПДК_{вр}, в то же время на третьем участке в районе сброса вод с очистных сооружений г. Дмитрова содержание свинца снизилось почти в 5 раз по сравнению с весной. На четвертом участке в пределах мелиорированной Яхромской поймы содержание свинца было на уровне весенних показателей, в предустьевом участке реки снизилось в четыре раза – 0.004 мг/дм³. Следовательно, влияние дренажных вод Яхромской поймы на загрязнение реки свинцом не проявляется, что объясняется возможностью перехода свинца в неподвижные формы или его адсорбцией на взвешенных частицах с последующим осаждением в донных отложениях коллекторов.

Содержание растворимых форм меди в незагрязненных пресных водах обычно колеблется от 0.5 до 1 мг/дм³, возрастая до 2 мг/дм³ в городских районах (Черных, Овчаренко, 2002). Содержание меди в воде весной на всем протяжении р. Яхромы колебалось в пределах 0.001-0.005 мг/дм³, что соответствует 1-5 ПДК_{вр} (табл. 1). Только на первом участке с крупнозернистым песком на дне содержание меди весной было почти в пределах ПДК_{вр}. Относительно большей концентрацией меди в воде отличался второй участок в зоне влияния сточных вод очистных сооружений г. Яхромы, где содержание меди составило 0.003 мг/дм³ или 3 ПДК_{вр}. Максимальная концентрация меди в воде отмечена на четвертом участке реки в пределах мелиорированной поймы (станция 7). На других участках содержание меди было практически одинаковым – в пределах 0.002 мг/дм³.

В летний период картина пространственной динамики меди в воде реки иная. На первом участке содержание меди было весьма незначительным – в пределах 0.001 мг/дм³. В начале

второго участка медь практически отсутствует, но уже в зоне влияния стока с очистных сооружения г. Яхромы ее обнаружено 0.003 мг/дм^3 (3 ПДК_{вр}).

Можно было предположить, что медь поступает со стоками очистных сооружений, однако на третьем участке реки в зоне влияния сточных вод очистных сооружений г. Дмитрова медь в воде практически отсутствовала. Отсюда вероятнее предположение о том, что причиной относительно высокого содержания меди служат стоки с садово-огородных участков, широко представленных в пределах среднего течения реки. В пользу этого предположения служит факт высокого содержания меди на четвертом участке в пределах влияния стока дренажных вод с агроценозов Яхромской поймы – 0.003 мг/дм^3 , что связано с использованием удобрений и пестицидов в агроценозах в период активной вегетации сельскохозяйственных культур. В приустьевом участке содержание меди падает до 0.002 мг/дм^3 .

Осенью на первом участке медь в воде практически отсутствовала, но на втором и третьем участках в зоне влияния стока с очистных сооружений гг. Яхромы и Дмитрова ее концентрация соответствовала ПДК_{рв}. На четвертом участке реки в пределах мелиорированной Яхромской поймы осенью, как и в весенне-летний период, отмечаются относительно высокие концентрации меди в воде – 0.003 мг/дм^3 , в приустьевом участке – 0.002 мг/дм^3 .

Концентрация цинка в воде р. Яхромы весной превышала ПДК_{вр} на большинстве исследуемых участков, за исключением второго участка в зоне влияния сточных вод очистных сооружений г. Яхромы и третьего участка реки, где концентрация цинка в воде составила 0.005 и 0.008 мг/дм^3 соответственно (табл. 1).

Содержание цинка в воде на первом участке реки было в пределах 0.047 - 0.076 мг/дм^3 , что соответствует 4.7 - 7.6 ПДК_{вр}, но уже в начале второго участка отмечается снижение концентрации цинка до 0.041 мг/дм^3 (4.1 ПДК_{вр}). На четвертом участке в пределах мелиорированной поймы весной в предустьевом участке содержание цинка вновь возрастает до 0.055 и до 0.081 мг/дм^3 . Вероятно, это связано с влиянием агроценозов поймы.

В летний период в начале первого участка содержание цинка в воде заметно снизилось до 0.018 мг/дм^3 , ниже по течению по-прежнему сохранялось высокое содержание цинка в воде – 0.063 мг/дм^3 (6.3 ПДК_{вр}), но в конце участка вновь снизилось до 0.011 мг/дм^3 , что практически соответствует ПДК_{вр}. На втором и третьем участках в зонах влияния сточных вод очистных сооружений гг. Яхромы и Дмитрова концентрация цинка была минимальной для реки в летний период – 0.006 и 0.011 мг/дм^3 соответственно. Это дает основание утверждать, что сточные воды очистных сооружений не являются источником загрязнения цинком р. Яхромы. По-прежнему относительно высокие концентрации цинка, но существенно ниже, чем весной, наблюдаются на четвертом участке реки – 0.038 мг/дм^3 на участке влияния стока дренажных вод, 0.045 мг/дм^3 – в предустьевом участке. Полагаем, что и летом это связано с влиянием дренажных вод с агроценозов. Осенью концентрация цинка на первом участке осталась практически на уровне летней – в пределах 0.029 - 0.031 мг/дм^3 . На втором участке при впадении р. Волгуши содержание цинка возросло более чем в 3 раза, составив 0.021 мг/дм^3 . Возможно, это связано с поступлением цинка с ливневым стоком при прохождении дождей в осенний период. Ниже по течению в зоне влияния сточных вод очистных сооружений гг. Яхромы и Дмитрова содержание цинка в воде реки практически не изменилась по сравнению с летом. Заметно снизилось содержание цинка в воде на четвертом участке реки – до 0.015 мг/дм^3 , что объясняется резким снижением его поступления с коллекторными водами. Осенью в магистральном канале при практическом отсутствии поступления в него цинка с коллекторными водами содержание цинка было в пределах 0.001 - 0.002 мг/дм^3 . В целом в период вегетации на большинстве участков р. Яхромы от верховьев до устья отмечено превышение ПДК_{вр} по цинку в воде.

Исходя из данных по гидрохимическому анализу, а также содержанию нефтепродуктов и ЭКОСИСТЕМЫ: ЭКОЛОГИЯ И ДИНАМИКА, 2017, том 1, № 3

тяжелых металлов в воде р. Яхрома был рассчитан индекс загрязненности вод (ИЗВ), по которому определялся класс качества воды в водном объекте. Для верхнего течения реки на выходе из лесного массива определена минимальная величина ИЗВ, равная 1.1, что соответствует 3 классу качества воды (умеренно-загрязненные), но уже в конце первого участка среднее значение ИЗВ было 1.6, что соответствует 4 классу качества вод (загрязненные), на втором-третьем участках в пределах урбанизированной территории ИЗВ был в пределах 2.6-2.7, что соответствует 5 классу качества воды (грязные). На четвертом участке реки в пределах агроценозов Яхромской поймы ИЗВ составил 3.7, что соответствует 6 классу качества воды (очень грязные). В предустьевом участке реки ИЗВ снизился до 2.3 (5 класс качества воды).

Заключение

Пространственная динамика основных гидрохимических показателей дает основание утверждать, что лишь на протяжении первых трех километров от истоков р. Яхрома протекает в естественных природных условиях. Далее вниз по течению, уже на выходе из леса, на своем первом участке река протекает по территории, занятой малыми поселениями и развитой автодорожной сетью, что отразилось на гидрохимическом режиме реки – ИЗВ составил 1.1 (3 класс – умеренно-загрязненные воды), в пределах урбанизированной территории ИЗВ составил 2.6-2.7, что соответствует 5 классу качества воды (грязные), в пределах агроценозов Яхромской поймы ИЗВ – 3.7, что соответствует 6 классу качества воды (очень грязные). От истоков к устью в реке заметно возрастает минерализация воды (от 400-440 мг/дм³ до 480-590 мг/дм³), что связано, прежде всего, с возрастанием хлоридов и сульфатов. На участке реки в пределах урбанизированной территории прослеживалось загрязнение воды хлоридами, сульфатами и свинцом. В пределах мелиорированной Яхромской поймы отмечалось загрязнение воды в реке нитратами, фосфатами, а также превышение ПДК по свинцу, меди и цинку, что явно связано с активным использованием удобрений в агроценозах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Вагнер Б.Б., Клевкова И.В.* 2003. Реки Московского региона // Учебно-справочное пособие по курсу «География и экология Московского региона». М.: МГПУ. 244 с.
- Вагнер Б.Б.* 2006. Реки и озера Подмосковья. М.: Вече. 480 с.
- ГОСТ Р 51592-2000 Вода. Общие требования к отбору проб. 2010. Введен 2001-07-01. М.: Стандартинформ. [Электронный ресурс <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-51592-2000>].
- Крылов А.В.* 2006. Гидробиология малых рек. Рыбинск: Издательство ОАО «Рыбинский Дом печати». 110 с.
- Линник П.Н., Набиванец Б.И.* 1986. Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Л.: Гидрометеиздат. 272 с.
- Линник П.Н.* 1999. Донные отложения водоемов как потенциальный источник вторичного загрязнения водной среды соединениями тяжелых металлов // Гидробиологический журнал. Т. 35. № 2. С. 97-109.
- Лыков И.Н., Шестакова Г.А.* 2005. Техногенные системы и экологический риск: Учебное пособие для вузов. М.: ИПЦ «Глобус». 262 с.
- Манихин В.И., Никаноров А.М.* 2001. Растворенные и подвижные формы тяжелых металлов в донных отложениях пресноводных экосистем. СПб.: Гидрометеиздат. 183 с.
- Методика измерений массовой концентрации нефтепродуктов в воде на анализаторе АН-2

- АИП 2 840.056.1. 2011. СПб.: Нефтехимавтоматика-СПб. 15 с.
- Методические рекомендации по формализованной комплексной оценке качества поверхностных и морских вод по гидрохимическим показателям. 1988. М.: Госкомитет СССР по гидрометеорологии. 7 с.
- Михайлов В.Н., Добровольский А.Д., Добролюбов С.А. 2007. Гидрология: Учебник для вузов. 2 изд. испр. М.: Высшая школа. 463 с.
- Моисеенко Т.И. 2009. Водная экотоксикология: теоретические и прикладные аспекты. М.: Наука. 400 с.
- Моржухина С.В. 2000. Геохимическая оценка загрязнения малых рек (на примере реки Сестра Московской области) // Автореферат диссертации на соискание ... канд. хим. наук. М. 22 с.
- Мур Дж.В., Рамамурти С. 1987. Тяжелые металлы в природных водах. Контроль и оценка влияния. М.: Мир. 286 с.
- Новиков Ю.В., Ласточкин К.О. 1990. Методы исследования качества воды водоемов. М.: Медицина. 399 с.
- Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения. 2010. Приказ от 18 января 2010 года № 20. [Электронный ресурс <http://docs.cntd.ru/document/902199367>].
- Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2012 год. 2013. М.: Росгидромет. [Электронный ресурс <http://www.meteor.ru/product/infomaterials/90/?year=2013&ID=90>].
- Ревич Б.А., Авалиани С.Л. 2004. Экологическая эпидемиология: Учебник для высших учебных заведений. М.: Академия. С. 189-213.
- Черных Н.А., Овчаренко М.М. 2002. Тяжелые металлы и радионуклиды в биогеоценозах. М.: Агроконсалт. 200 с.
- Экологическое состояние малых рек Верхнего Поволжья. 2003 / Ред. В.Г. Папченков. М.: Наука. 389 с.
- Экосистема малой реки в изменяющихся условиях среды. 2007 / Ред. А.В. Крылов, А.А. Бобров. М.: Товарищество научное издание КНК. 372 с.

ASSESSMENT OF THE ECOLOGICAL STATE OF THE RIVER YAKHROMA BY HYDROCHEMICAL INDICATORS

© 2017. N.V. Kuznetsova

Dmitrov Fish-Industry Technological Institute

Russia, 141821, Moscow Region, Dmitrov District, Rybnoye, 36. E-mail: natashak.82@mail.ru

The Yakhroma river basin is remarkable for its diverse landscapes and the level of economic development. Therefore there are distinctions over the river in its channel morphology, hydrological characteristics, composition of the bottom sediments and structure of zoobenthos communities. These features make Yakhroma a reservoir model which help to investigate the effect, caused by different economical activities on the ecosystems of small rivers. This paper presents the results of studies of the river Yakhroma, conducted during the growing seasons from 2010 to 2015. Spatial-temporal dynamics of the main hydro-chemical indicators, as well as materials on the content of heavy metals (Cu, Cd, Ni, Pb and Zn, Mn) in the water are given. It was found out that Yakhroma almost does not feel the impact of the economic activities in its upper flow; although in its middle and lower flows the river's ecological state significantly deteriorates because of the runoff from the urban and agricultural areas.

Keywords: river, hydrochemical regime, heavy metals, sediments, aquatic vegetation.