

ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ РЕК БЕЛАРУСИ

Введение. Республика Беларусь обладает достаточно большим количеством водных объектов и не испытывает дефицита в воде. На территории находится 20800 рек [1]. Самыми крупными являются Днепр, Березина, Припять, Сож, Неман, Птичь, Западная Двина, Щара, Свислочь, Друть, Вилия, Ясельда, Березина и Случь. Однако в настоящее время существует проблема качества вод. В гидрохимическом режиме рек Беларуси происходят изменения, причем не всегда в лучшую сторону [2].

Существует большое количество путей загрязнения водных объектов. Возникновение загрязняющих веществ может быть природного и техногенного характера. Безусловно, антропогенная нагрузка оказывает более сильное влияние на состояние окружающей среды. Высокую опасность несут сбросы несанкционированных объемов загрязненных вод с предприятий либо недостаточно очищенные воды, в которых превышены предельно допустимые концентрации загрязнителей. Сельское хозяйство и животноводство также оставляют свой след. Химикаты, защищающие урожай от вредителей, азотные, калийные и фосфорные удобрения вместе с поверхностным стоком попадают в реки и водоемы. С птицефабрик и животноводческих ферм в воды попадают антибиотики, продукты жизнедеятельности животных, остатки комбикормов, а также осевшие молекулы метана. Особую опасность представляют собой выбросы и сбросы на предприятия химической, нефтедобывающей и нефтеперерабатывающей отрасли, а также при производстве медицинских препаратов и биологически активных добавок. Вещества на этих производствах могут быть токсичны, имеют свойство накапливаться в водах, почве и в живых организмах. Повышенные меры контроля за деятельностью предприятий и нормирование сбросов помогают бороться с этим источником загрязнения. На современном этапе необходима постоянная оценка качества поверхностных вод и прогноз изменения гидрохимического режима рек на ближайшие десятилетия.

Исходные данные и методика исследований. В исследовании использовались данные Государственного водного кадастра Республики Беларусь за период с 1994 по 2015 г. Проанализированы изменения по основным гидрохимическим показателям: содержание в воде аммоний-иона, взвешенных частиц, растворенного кислорода, нефти и нефтепродуктов, нитритов, фосфатов, бихроматная окисляемость, индекс загрязнения вод (ИЗВ), биохимическое потребление кислорода за 5 суток (БПК₅).

Для оценки изменений в гидрохимическом режиме рек использовались стандартные статистические методы, в том числе линейные тренды. Их значимость определялась коэффициентами корреляции. В некоторых случаях также использовались нелинейные тренды. Оценка изменения временных рядов оценивалась градиентом изменения (α), т. е. величиной, численно равной коэффициенту регрессии (a), умноженному на 10 лет ($\alpha = a \cdot 10$ лет). Значимость коэффициента корреляции установлена на 5 %-м уровне ($r_{кр} = 0,576$) [3].

Прогнозные оценки загрязняющих веществ осуществлялись с помощью «экспоненциального сглаживания» пакета анализа Microsoft Excel.

Этот метод предполагает, что наблюдения некоторой величины X производятся через равные промежутки времени. Результат наблюдения обозначим $X(t)$, где t – номер наблюдения. Прогнозная оценка $P(t+1)$ для следующего момента времени рассчитывается как:

$$P(t+1) = P(t) + (1-\beta) \cdot (X(t) - P(t)), \quad (1)$$

где β – фактор затухания, выбирается обычно от 0,7 до 0,8.

Волчек Анастасия Александровна, к.т.н., доцент, доцент кафедры природообустройства Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Меньшие значения фактора затухания ускоряют отклик прогноза на скачок наблюдаемого процесса, но могут привести к непредсказуемым выбросам.

Первый раз после начала наблюдений, располагая лишь одним результатом наблюдений $X(1)$, когда прогноза $P(1)$ нет и формулой (1) воспользоваться еще невозможно, в качестве прогноза $P(2)$ следует взять $X(1)$.

Формула (1) легко может быть переписана в ином виде:

$$P(t+1) = \beta \cdot P(t) + (1-\beta) \cdot X(t). \quad (2)$$

Теперь из формулы 2 видно, что при уменьшении фактора затухания в прогнозе доля последнего наблюдения увеличивается, а доля предыдущих наблюдений убывает.

Были построены прогнозные графики по одному из створов с различными факторами затухания. На основе анализа хронологического хода рассматриваемых химических элементов в поверхностных водах рек Беларуси выбран фактор затухания, равный 0,7, который наиболее точно отражает тенденцию изменения содержания загрязняющих веществ в водных объектах (рис. 1).

При использовании других методов прогнозирования не удалось получить объективных результатов и достоверных значений.

Прогнозирование с помощью линейных трендов приводило к получению отрицательных значений содержания различных веществ в водных объектах, что не может соответствовать действительности.

Полученные результаты и их обсуждение. *Индекс загрязненности воды (ИЗВ).* На рис. 2¹ представлена карта прогнозных оценок категорий поверхностных вод Беларуси по индексу загрязненности воды на 2020 год. Имеет место равномерное распределение показателей по всей территории Беларуси, кроме участка – бассейн р. Березины от г. Борисова на северо-восток до Оршанской возвышенности и участка – бассейн р. Вилии от г. Сморгони на северо-запад до границы Республики Беларусь, где значения ИЗВ в диапазоне (0,4 – 1,2 мг/дм³), что соответствует второму и третьему классу качества воды. На остальной территории Беларуси по прогнозным оценкам качество воды на 2020 год будет соответствовать первому классу.

По сравнению с показателями ИЗВ на 2014 г., в 2020 г. прогнозируется значительное улучшение качества воды на всей территории Республики Беларусь. Так, если в 2014 г. большинство поверхностных вод соответствовало второму и третьему классу качества, то в 2020 году к такому классу будет относиться лишь небольшая часть воды, основной же объем будет иметь первый класс качества.

Кислород. На рис. 3 представлены результаты прогнозирования содержания кислорода в поверхностных водах Беларуси на 2020 год. Наиболее высокие показатели будут приходиться на: бассейн р. Припять от границы Республики Беларусь в Гомельской области до г. Пинска; бассейн р. Неман на участке от границы Республики Беларусь в Гродненской области до г. Новогрудка; бассейн р. Щары от г. Щучина до г. Барановичи; бассейн р. Вилии от г. Сморгони до границы Республики Беларусь в Гродненской области. Показатели кислорода прогнозируются в диапазоне 7,91–9,67 мгО₂/дм³, что выше ПДК (6 мгО₂/дм³). Наименьшие показатели ожидаются в бассейне р. Мухавец от г. Бреста до г. Кобрин; бассейн р. Днепр от г. Орши в северо-восточном направлении до границы Республики Беларусь в Витебской области, где показания, кислорода в воде могут составлять от 4,93 до 7,46 мгО₂/дм³. На остальной территории Беларуси показатели содержания кислорода в поверхностных водах прогнозируются несколько выше ПДК.

¹ Эта и последующие карты подготовлены совместно с Поворотной Ю. С.

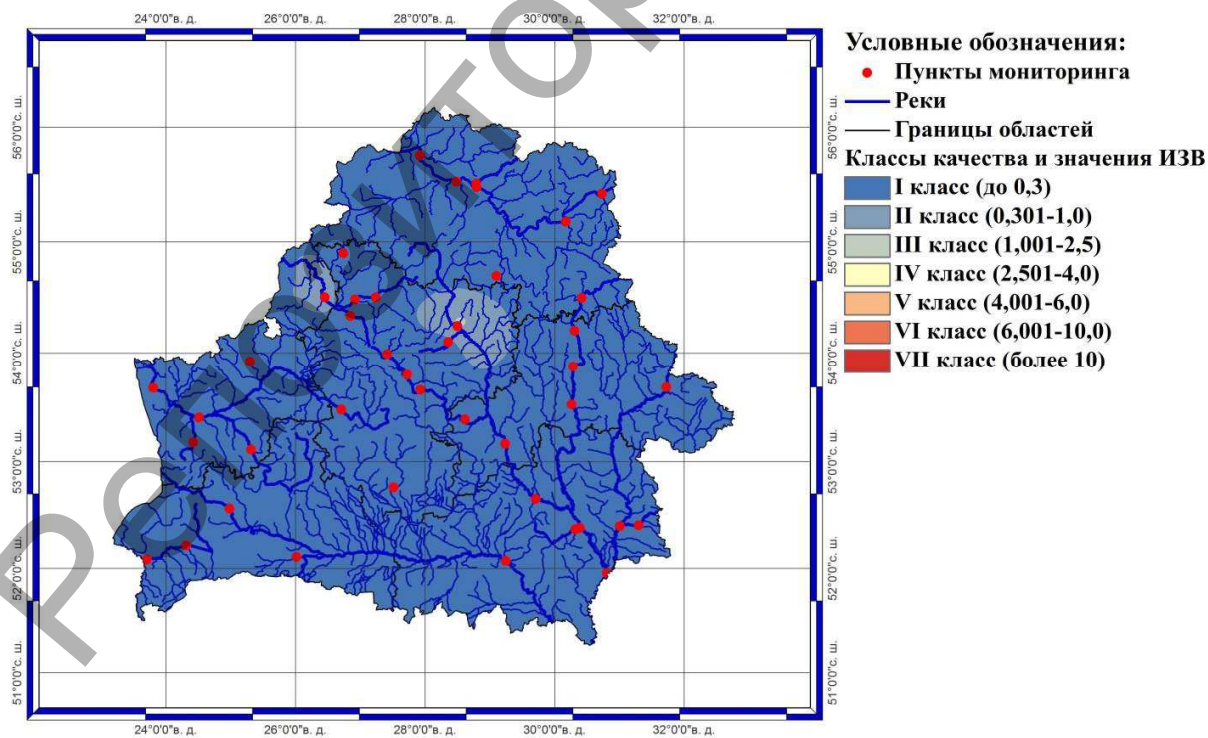
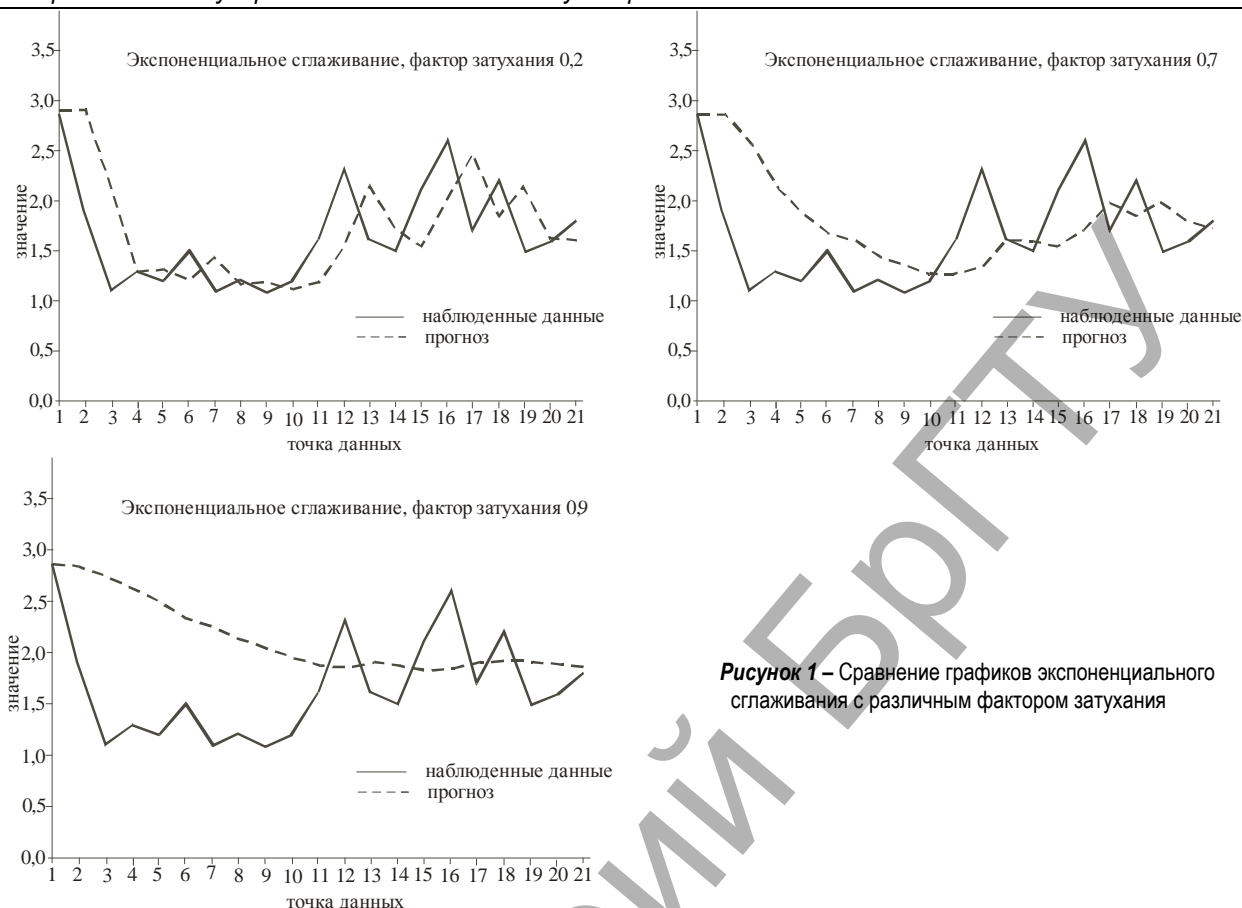


Рисунок 2 – Категорирование поверхностных вод Беларуси в зависимости от индекса загрязненности воды в 2020 г.

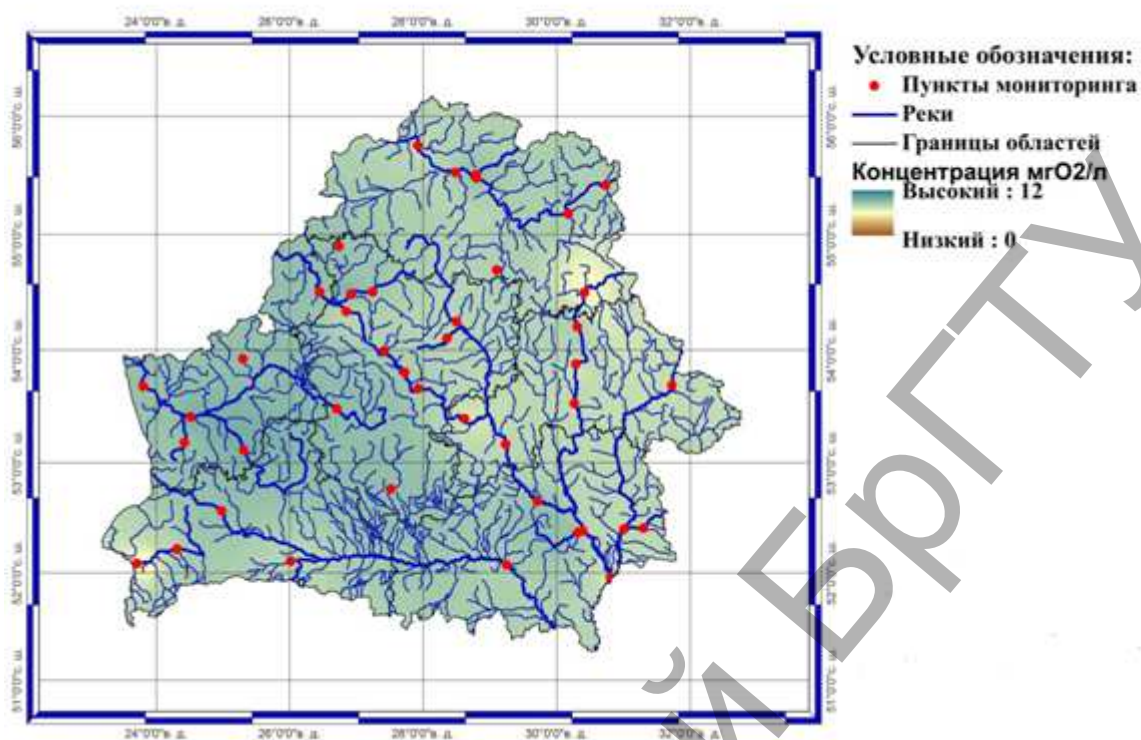


Рисунок 3 – Карта содержания кислорода в поверхностных водах Беларуси в 2020 г.

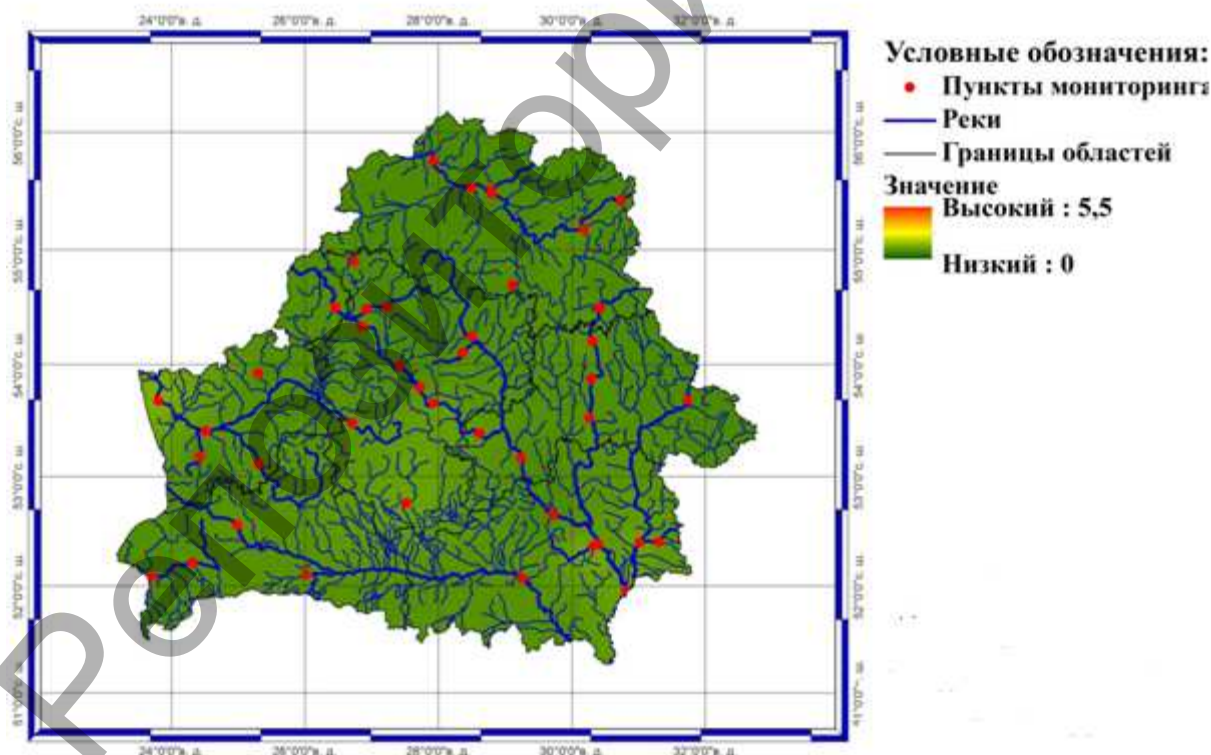


Рисунок 4 – Карта биологического потребления кислорода за 5 суток в 2020 г.

По сравнению с показателями 2014 г., в 2020 г. прогнозируется уменьшение содержания кислорода в поверхностных водах на всей территории Республики Беларусь.

БПК₅. На рис. 4 представлены результаты прогнозирования показателей биологического потребления кислорода поверхностных

вод Беларуси на 2020 год. Прогнозируется равномерное распределение показателей по всей территории Беларуси. Показатели будут варьироваться в интервале 0,80 – 1,60 $\text{mgO}_2/\text{дм}^3$, что соответствует низким значениям. Для сравнения ПДК для биологического потребления кислорода за 5 суток составляет 3 $\text{mgO}_2/\text{дм}^3$.

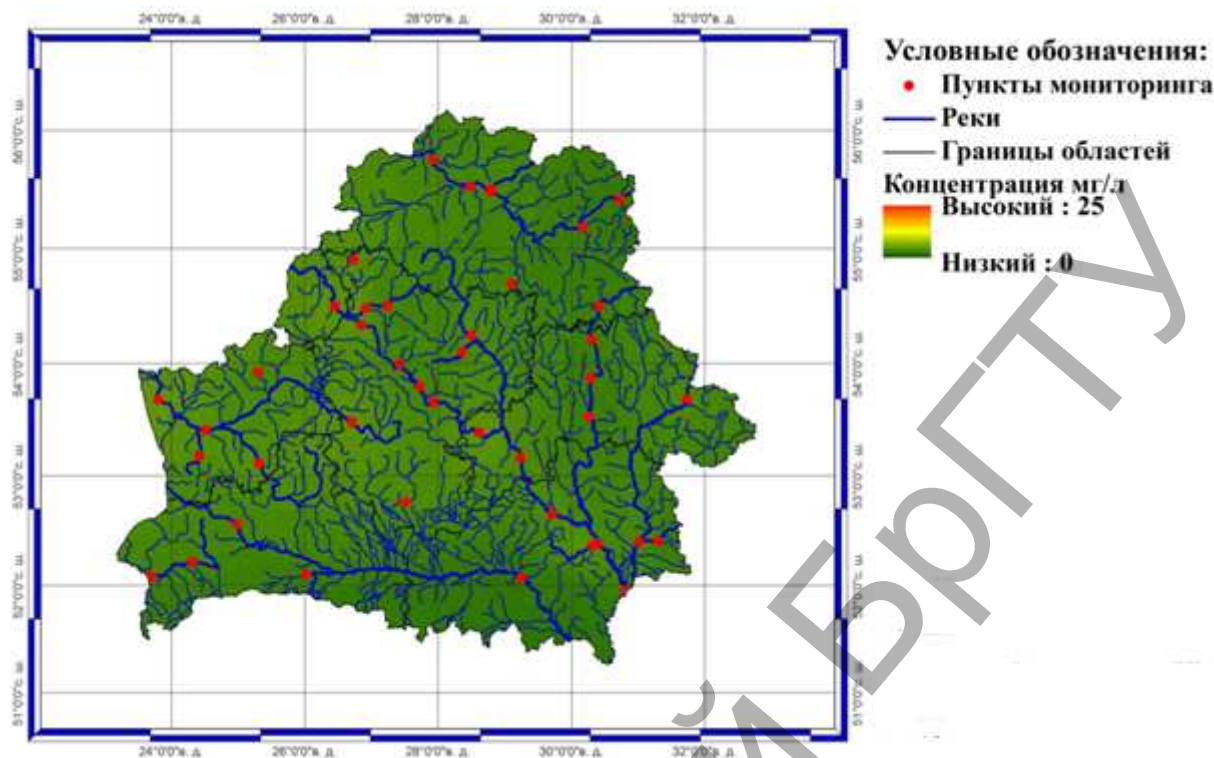


Рисунок 5 – Карта содержания взвешенных частиц в поверхностных водах Беларуси в 2020 г.

По сравнению с показателями биологического потребления кислорода поверхностных вод Беларуси на 2014 год, в 2020 году прогнозируется значительное снижение этого показателя. Так, значения БПК в 2014 году в бассейне р. Неман от г. Гродно до границы Республики Беларусь были в районе $2,36 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$, на 2020 г. на этой же территории значения биологического потребления кислорода прогнозируются в районе $1,10 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$, что ниже ПДК. Также можно отметить прогнозируемое существенное уменьшение значений биологического потребления кислорода в бассейне р. Березины на участке: граница Республики Беларусь в Гомельской области до г. Речицы в северо-западном направлении, до г. Мозыря в западном направлении, до г. Гомеля в северном направлении. Так, в 2014 году на данной территории значения колебались в диапазоне $2,1 \text{ мгО}_2/\text{дм}^3$, в 2020 же году значения прогнозируются значительно ниже – в районе $1,10 \text{ мг О}_2/\text{дм}^3$. В целом снижение показаний биологического потребления кислорода наблюдаются на всей территории Республики Беларусь.

Взвешенные вещества. На рис. 5 представлены результаты прогнозирования содержания взвешенных веществ в поверхностных водах Беларуси на 2020 год. Имеет место равномерное распределение показателей по всей территории Беларуси, которые варьируют в интервале $2,5 - 4,9 \text{ мг}/\text{дм}^3$. При ПДК для взвешенных веществ составляет $25 \text{ мг}/\text{дм}^3$, этот показатель будет значительно ниже нормативных.

По сравнению с показателями содержания взвешенных веществ в поверхностных водах Беларуси на 2014 год, на 2020 год прогнозируется снижение значений в бассейне р. Днепр близ г. Речицы; бассейне рр. Неман и Щара на территории Новогрудского возвышения; бассейне р. Неман в районе г. Гродно; бассейне р. Вилии близ г. Сморгони, с распространением в южном направлении вплоть до Ошмянской возвышенности. По сравнению с показателями содержания взвешенных веществ в поверхностных водах Беларуси на 1995 год, на 2020 год можно наблюдать снижение средних значений в несколько раз. В целом же на 2020 год будет наблюдаться снижение содержания взвешенных веществ на всей территории Республики Беларусь до значений, ниже ПДК.

Аммоний-ион. Результаты прогнозирования содержания аммоний-ионов в поверхностных водах Беларуси на 2020 год представлены на рис. 6. Как видно из рисунка, наиболее высокие показатели

будут наблюдаться в бассейне р. Березины от г. Борисова на восток, северо-восток, вплоть до границ Минской области; бассейне р. Вилии на участке: г. Молодечно – г. Сморгонь – о. Нарочь – граница Республики Беларусь, в южном, юго-западном направлении распространяясь примерно до Ошмянской возвышенности; бассейн р. Березины на участке от границы Республики Беларусь в Гомельской области до г. Речицы в северо-западном направлении, до г. Мозыря в западном направлении, до г. Гомеля в северном направлении; участок р. Свислочь в районе пгт. Свислочь.

По сравнению с показателями 2014 года по содержанию аммоний-ионов в поверхностных водах Беларуси произойдет значительное уменьшение содержания вредных веществ на указанных выше участках до уровня ПДК, в то время как на 2014 год показатели были выше ПДК. Также будет наблюдаться снижение уровня содержания аммоний-ионов и на остальных участках. Так, если в 2014 году показатели загрязнения практически всех поверхностных вод на территории Беларуси были на уровне ПДК либо чуть ниже, то в 2020 году эти показатели будут значительно ниже ПДК на большей части территории.

Нефтепродукты. На рис. 7 даны результаты прогнозирования содержания нефтепродуктов в поверхностных водах Беларуси на 2020 год. Загрязнение нефтепродуктами в той или иной степени распространено равномерно по всей территории Беларуси. Показатели варьируются в интервале $0,002 - 0,025 \text{ мг}/\text{дм}^3$, что значительно ниже ПДК для этого показателя, равного $0,05 \text{ мг}/\text{дм}^3$.

По сравнению с показателями содержания нефтепродуктов в поверхностных водах Беларуси на 2014 год, на 2020 год прогнозируется снижение значений в бассейне р. Припять от г. Солигорска в северо-восточном направлении до пгт. Свислочь и в восточном направлении до г. Бобруйска; бассейне р. Березины на участке от г. Бобруйска до г. Борисова, с распространением в южном направлении до г. Лепеля; бассейне р. Свислочь на территории от г. Марына Горка до пгт. Свислочь с распространением в южном направлении до г. Жодино. По сравнению с показателями содержания нефтепродуктов в поверхностных водах Беларуси в 1995 году, на 2020 год можно предположить снижение средних значений в несколько раз. В целом же на 2020 год прогнозируется снижение содержания нефтепродуктов на всей территории Республики Беларусь до значений, ниже ПДК.

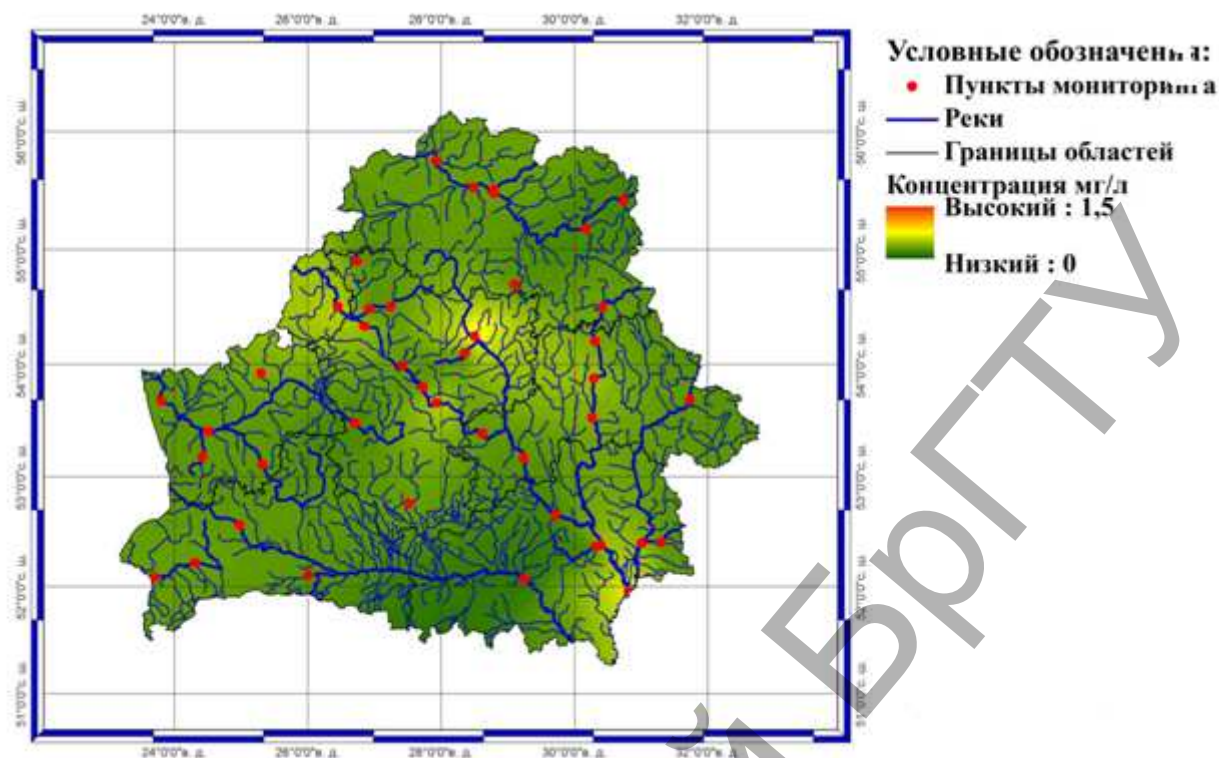


Рисунок 6 – Карта содержания аммоний-ионов в поверхностных водах Беларуси в 2020 г.

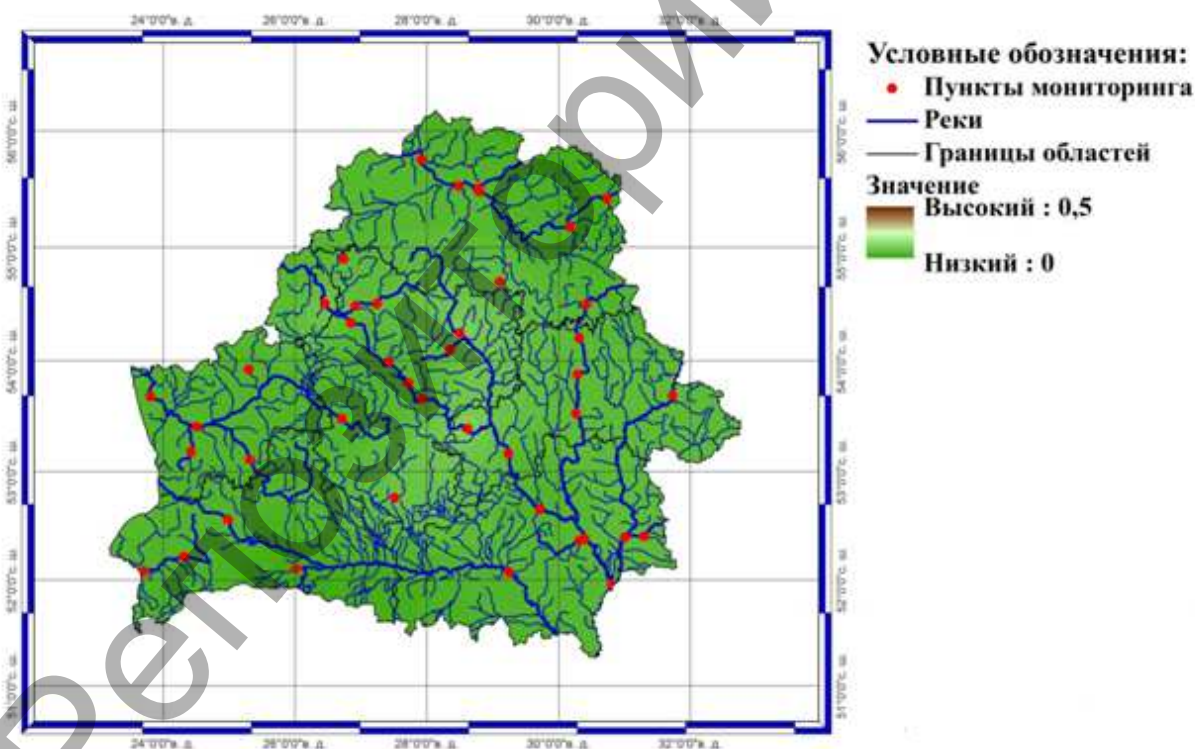


Рисунок 7 – Карта содержания нефтепродуктов в поверхностных водах Беларуси в 2020 г.

Бихроматная окисляемость. Результаты прогнозирования показателей бихроматной окисляемости поверхностных вод Беларуси на 2020 год представлены на рис. 8. Как видно из рисунка, имеет место равномерное распределение показателей по всей территории Беларуси, которые варьируют в диапазоне от 8,0 до 22,6 мгО₂/дм³, что значительно ниже ПДК для бихроматной окисляемости, равной 30 мгО₂/дм³.

По сравнению с показателями бихроматной окисляемости поверхностных вод Беларуси на 2014 год в 2020 году будет иметь ме-

сто значительное снижение значений данного показателя. Так, значения бихроматной окисляемости на 2014 год по Солигорскому водохранилищу и бассейну р. Припять в этом районе, с распространением на северо-запад, были в районе 52,3 мгО₂/дм³, что выше ПДК. На 2020 год на этой же территории значения бихроматной окисляемости прогнозируются в районе 22,6 мгО₂/дм³, что ниже ПДК. Также можно отметить существенное уменьшение значений бихроматной окисляемости в бассейне р. Западная Двина, на всем

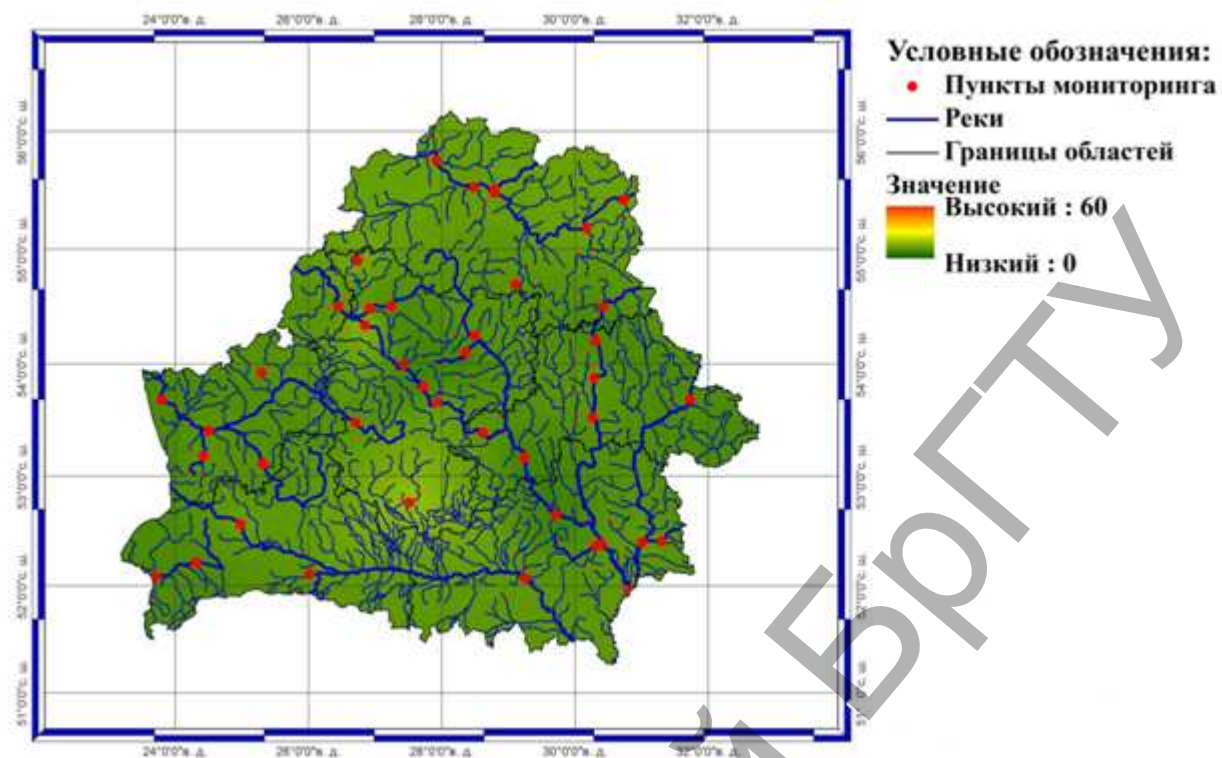


Рисунок 8 – Карта показателей бихроматной окисляемости в 2020 г.

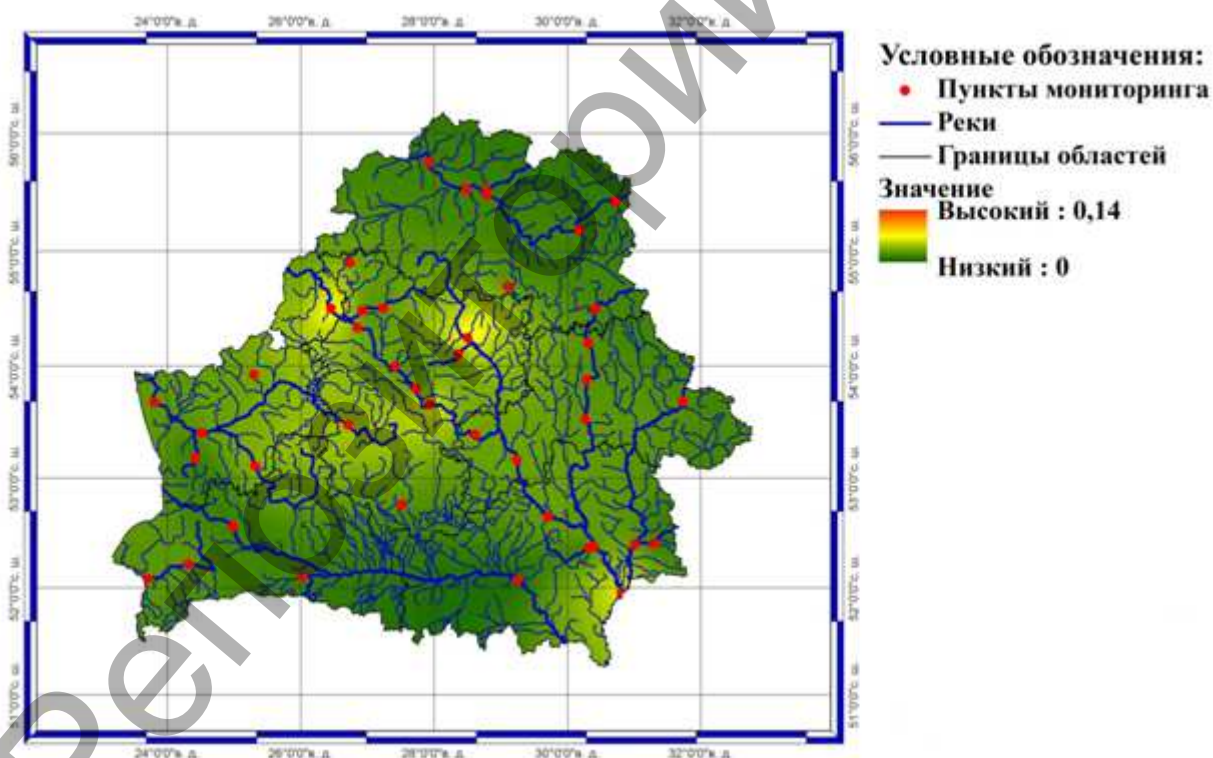


Рисунок 9 – Карта содержания нитрит-ионов в поверхностных водах Беларуси в 2020 г.

ее протяжении, с распространением в северном направлении до границы Республики Беларусь. Так, в 2014 году на данной территории значения колебались в диапазоне от 33,7 до 37,1 мгО₂/дм³, а на 2020 год значения прогнозируются значительно ниже, в диапазоне от 14,7 до 15,9 мгО₂/дм³. В целом будет наблюдаться снижение показаний бихроматной окисляемости на всей территории Республики Беларусь.

Нитриты. На рис. 9 показаны результаты прогнозирования содержания нитритов в поверхностных водах Беларуси на 2020 год. Наиболее высокие показатели будут приходиться на бассейн р. Бе-

резины от г. Борисова на восток, северо-восток, вплоть до границ Минской области; бассейн р. Вилии на участке г. Сморгонь – о. Нарочь – граница Республики Беларусь, в южном, юго-западном направлении распространяясь примерно до Ошмянской возвышенности; бассейн р. Березины на участке от границы Республики Беларусь в Гомельской области до г. Речицы в северо-западном направлении, до г. Мозыря в западном направлении, до г. Гомеля в северном направлении; участок р. Свислочь в районе пгт. Свислочь; бассейн р. Неман на территории Новогрудской возвышенности.

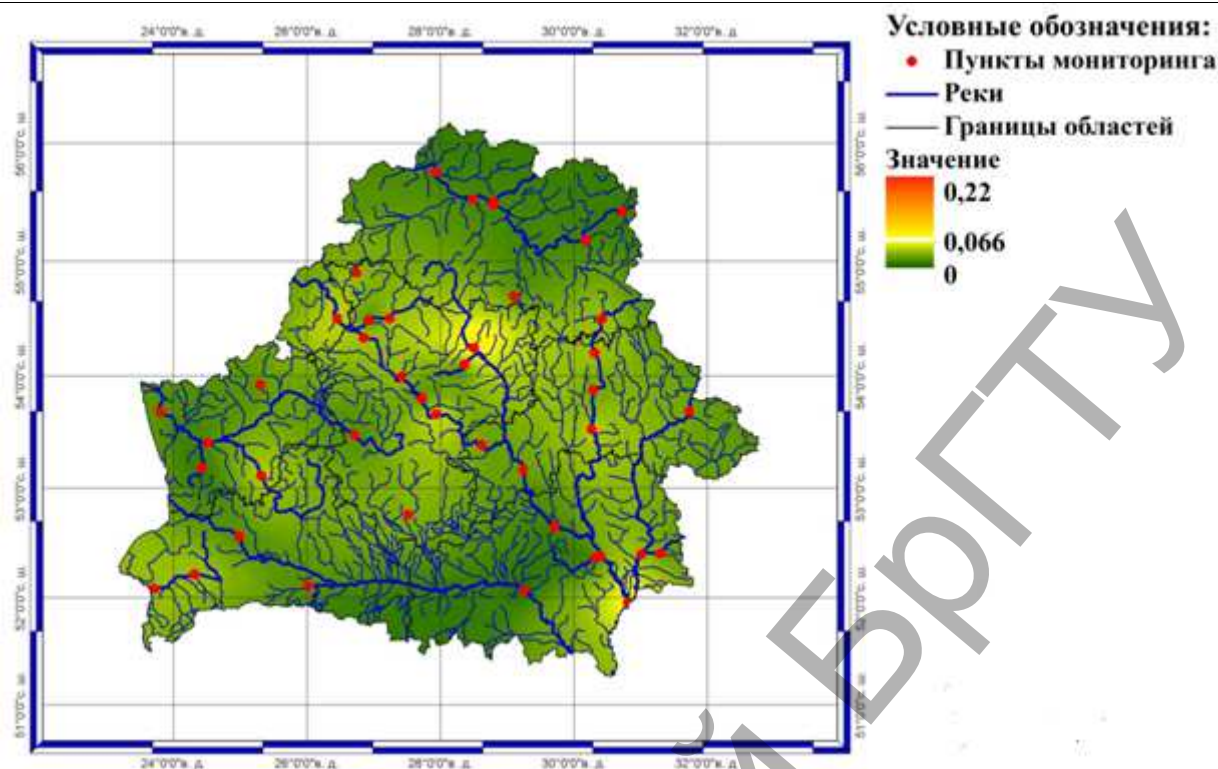


Рисунок 10 – Карта содержания фосфатов в поверхностных водах Беларуси в 2020 г.

По сравнению с показателями 2014 года по содержанию нитритов в поверхностных водах Беларуси произойдет уменьшение содержания этих веществ на указанных выше участках до уровня ПДК и ниже. Также будет иметь место снижение уровня содержания нитритов и на остальных участках. Так, если в 2014 году показатели загрязнения большинства поверхностных вод на территории Республики Беларусь были на уровне ПДК либо чуть ниже, то на 2020 году эти показатели прогнозируются значительно ниже ПДК на большей части территории Республики Беларусь.

Фосфаты. Результаты прогнозирования содержания фосфатов в поверхностных водах Беларуси на 2020 год представлены на рис. 10. Наиболее высокие показатели приходятся на бассейн р. Березины от г. Борисова на восток, северо-восток, вплоть до границ Минской области; бассейн р. Березины на участке от границы Республики Беларусь в Гомельской области до г. Речицы в северо-западном направлении, до г. Мозыря в западном направлении, до г. Гомеля в северном направлении; участок р. Свислочь в районе пгт. Свислочь.

По сравнению с показателями 2014 года по содержанию фосфатов в поверхностных водах Беларуси в бассейне р. Березины от г. Борисов на восток, северо-восток, вплоть до границ Минской области; бассейне р. Березины на участке – граница Республики Беларусь в Гомельской области до г. Речицы в северо-западном направлении, до г. Мозыря в западном направлении, до г. Гомеля в северном

направлении; участок р. Свислочь в районе пгт. Свислочь произойдет уменьшение содержания этих веществ на указанных выше участках до уровня ПДК (0,066 мг/дм³). Также будет наблюдаться снижение уровня содержания фосфатов и на остальных участках. Так, если в 2014 году показатели загрязнения большинства поверхностных вод на территории Республики Беларусь были на уровне ПДК либо выше, то на 2020 год эти показатели прогнозируются значительно ниже ПДК на большей части территории Республики Беларусь.

Заключение. Согласно проведенным исследованиям на 2020 год по прогнозным оценкам будет иметь место улучшение качества природных поверхностных вод по всей территории Беларуси. Это связано с переходом на современные маловодные технологии, улучшение технологии очистки сточных вод, совершенствованием законодательной базы в области охраны окружающей среды и т. д.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Рэкі і каналы // Беларуская энцыклапедыя. – Т. 18. – Ч. 2: Беларусь. – С. 47–49.
2. Ландшафтные воды в условиях техногенеза: монография / О. В. Кадацкая [и др.]. – Минск: Бел. наука, 2005. – 347 с.
3. Ясельда Реки Полесья / Под общей ред. А.А. Волчека [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2017 – 416 с.

Материал поступил в редакцию 07.05.2018

VOLCHAK, AN.A. Forecast assessment of water quality of rivers in Belarus

The article uses the data of hydrochemical analysis of the state water cadastre of the Republic of Belarus for the period from 1994 to 2014 for 36 sampling points on the main rivers of Belarus, as well as on 2 lakes and 4 water reservoirs. The assessment of the current state of surface waters in Belarus by 9 main indicators of hydrochemical analysis is given.

Based on the analysis of hydrochemical indicators, forecast estimates of changes in surface water quality in Belarus for 2020 are given in the form of geographic information maps for the selected indicators.