



*Рис. 2 – Балансовая схема водопотребления  
и водоотведения предприятия молочной промышленности (тыс. м³/год)*

## ЛИТЕРАТУРА

1. Промышленность Республики Беларусь, 2020: статистический сборник. – Мн.: Белстат, 2020. – С. 22.
2. Молочная отрасль / Юнитер: [электронный ресурс]. – URL: [uniter.by/upload/Dairy\\_industry.pdf](http://uniter.by/upload/Dairy_industry.pdf) (дата обращения: 28.02.2021).
3. Вода в молочной промышленности / ООО «Роспайп»: [электронный ресурс]. – URL: [https://ros-pipe.ru/tekhn\\_info/tekhnicheskie-stati/vodoprovodnye-sistemy-i-oborudovanie/otraslevye-resheniya/voda-v-molochnoy-promyshlennosti/](https://ros-pipe.ru/tekhn_info/tekhnicheskie-stati/vodoprovodnye-sistemy-i-oborudovanie/otraslevye-resheniya/voda-v-molochnoy-promyshlennosti/) (дата обращения: 28.02.2021).
4. Жмыхов, И. Н. Основы экологии / И. Н. Жмыхов, А. А. Челноков, Л. Ф. Ющенко. – Минск: Вышэйш. шк., 2012. – 700 с.
5. ТКП 17.02-13/1-2015 (33140) «Охрана окружающей среды и природопользование. Технологические нормативы. Часть 1. Расчет технологических нормативов водопользования».

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ КАЧЕСТВА ВОДОЕМОВ В УСЛОВИЯХ ЭВТРОФИКАЦИИ (НА ПРИМЕРЕ РЕКИ СЕРЕТ, УКРАИНА) ASSESSMENT OF THE STATE OF WATER QUALITY DUE TO EUTROPHICATION CONDITIONS (ON THE EXAMPLE OF THE SERET RIVER, UKRAINE)

**Л. Я. Федонюк, Е. И. Скиба, О. М. Ярема, Е. Мочук\***  
**L. Ya. Fedonyuk, O. I. Skyba, O. M. Yarema, E. Mochuk\***

Тернопольский национальный медицинский университет  
имени И. Я. Горбачевского МЗ Украины, г. Тернополь, Украина  
\*Жешувский политехнический университет, г. Жешув, Польская Республика  
[jaremaom@tdmu.edu.ua](mailto:jaremaom@tdmu.edu.ua)

I. Horbachevsky Ternopil National Medical University  
Ministry of Health of Ukraine, Ternopil, Ukraine  
\*Rzeszow Polytechnic University, Rzeszow, Republic of Poland

Оценено экологическое состояние реки Серет с помощью изучения физико-химических показателей водоема (содержания растворенного кислорода, температуры воды), биогенных веществ (соединений фосфора)

и сопоставление их с литературными данными развития фитопланктона, в частности синезеленых водорослей водоемов. Показано, что увеличение концентрации фосфора в водоеме способствует увеличению биомассы фитопланктона, а при снижении содержания фосфатов численность фитопланктона снижается, что может быть следствием повышенного антропогенного воздействия на водоем. Зафиксировано развитие эвтрофикационных процессов в р. Серет, которые возможно предупредить уменьшением поступления загрязняющих веществ в реку и соблюдением санитарных правил на водозаборе.

The ecological state of the Seret River was assessed by studying the physicochemical parameters of the river reservoir (the content of dissolved oxygen, water temperature), biogenic substances (phosphorus compounds) and comparing them with the literature data on the development of phytoplankton, in particular, blue-green algae. It is analyzed that an increase in the concentration of phosphorus in the reservoir contributes to an increase in the biomass of phytoplankton, and with a decrease in the content of phosphates, the number of phytoplankton decreases, which may be a consequence of an increased anthropogenic impact on the reservoir. The development of eutrophication processes in the Seret River was established, which can be prevented by a decrease in the flow of pollutants into the river and compliance with sanitary rules at the water intake.

**Ключевые слова:** гидроэкосистема, растворенный кислород, температура воды, фосфаты, фитопланктон, синезеленые водоросли, антропогенное загрязнение.

**Keywords:** hydroecosystem, dissolved oxygen, water temperature, phosphates, phytoplankton, blue-green algae, anthropogenic pollution.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-220-223>

В сегодняшних условиях экосистемы рек испытывают значительное влияние природных и антропогенных факторов, негативно влияющих на потенциал самоочищения природных вод. Русловые процессы и общее состояние средних и малых рек в настоящее время в меньшей степени зависят от природных факторов, а в большей – хозяйственной деятельности на площади водосбора. Особенно интенсивному воздействию подвергаются реки, протекающие через урбанизированные комплексы [1, 2].

В условиях антропогенной эвтрофикации в водоемах резко увеличивается концентрация биогенных элементов, среди которых наибольшее значение для гидробионтов имеют соединения фосфора. С одной стороны, фосфор является необходимым элементом, который определяет производительность водного объекта, а с другой – избыток соединений фосфора в водоемах приводит к повышению уровня трофности водоема и к последующей ее деградации вследствие бурного развития в нем растительных организмов. При этом активное размножение водорослей и цианобактерий вызывает цветение воды, что приводит к дефициту кислорода и заиливанию почв водоемов.

Эвтрофикация – это естественный процесс старения водоемов, который длится века. В водных объектах, подверженных антропогенному воздействию, процессы эвтрофирования стремительно ускоряются: существенно изменяются физико-химические свойства водной среды, повышается содержание биогенных и органических веществ, снижается уровень насыщения воды кислородом, в придонных слоях формируются анаэробные зоны, растет мутность и уменьшается прозрачность воды. Эвтрофикация свидетельствует о нарушении экологического равновесия и впоследствии приводит к деградации речных экосистем. Нарушается естественная способность рек к самоочищению, саморегуляции, формированию биотических связей, параметров качества воды, ухудшается состояние их экосистем [1-3].

Содержание фосфора в среде относится к числу важных факторов, определяющих количественные показатели развития фитопланктона и его видовой состав. Сезонные изменения численности и биомассы фитопланктона определяются влиянием на водоросли сложного комплекса внешних условий, прежде всего освещения, температуры, содержания в воде биогенных элементов, органических веществ и др. [2].

Поэтому, чтобы предупредить негативные изменения, вызванные урбанизационными процессами, в частности загрязнением, нужно исследовать взаимосвязи между фосфорными соединениями, основными гидрохимическими и гидрофизическими показателями водоема и развитием фитопланктона, в частности синезеленых водорослей.

Целью работы было оценить экологическое состояние реки Серет с помощью изучения физико-химических показателей водоема (содержания растворенного кислорода, температуры воды), биогенных веществ (соединений фосфора) и сопоставления их с литературными данными развития фитопланктона, в частности сине-зеленых водорослей водоемов.

Методы исследования: теоретические (обработка научной и научно-популярной литературы по исследуемому вопросу), математические методы обработки полученных результатов, методы анализа полученных результатов исследований лаборатории Тернопольского национального педагогического университета им. В. Гнатюка.

Концентрацию растворенного в воде кислорода считают индикатором экологического состояния водоемов, поскольку достаточное его количество или дефицит существенно влияет на жизнедеятельность многих групп гидробионтов, а также на интенсивность и направленность окислительно-восстановительных процессов. В поверхностных водах содержание растворенного кислорода меняется в широких пределах (от 0 до 14 мг / дм<sup>3</sup>) и имеет сезонные колебания, зависящие от интенсивности его выработки и потребления [3, 4].

Для определения в водоеме реки Серет содержания растворенного кислорода осуществляли отбор проб воды при устойчивых погодных условиях, после того, как получили представление о размерах, конфигурации, глубине и морфометрии водоема. Для отбора воды использовали пластиковые пробоотборники объемом 1 дм. Перед тем, как взять пробу, посуду несколько раз ополаскивали водой, которую должны отбирать. Каждую пробу фильтровали через плотный бумажный фильтр на месте ее отбора [5, 7]. После доставки проб в лабораторию ТНПУ им. В. Гнатюка в пробах воды определяли содержание растворенного кислорода с помощью кислометра АЖА-101М.

Для реки характерна следующая динамика изменений концентраций растворенного кислорода: уменьшение с апреля по май, повышение в июне, снижение в летние месяцы и рост осенью. Максимальные значения растворенного кислорода в апреле свидетельствуют об интенсивности фотосинтеза, вызванного значительным прогревом воды и развитием фитопланктона в водоеме. Низкие концентрации кислорода в летние месяцы, обусловленные длительными дождями, когда с площади водосбора в реки поступает большое количество гуминовых веществ, на окисление которых необходимо значительное количество растворенного в воде кислорода. При длительном дефиците кислорода из ила в водную среду переходят органические вещества, количество которых увеличивается за счет отмирания фитопланктона осенью, в результате чего в воде возрастает количество растворенного кислорода [1-4].

Во время отбора проб воды из водоема температуру измеряли ртутным термометром с ценой деления 0,1-0,5 °C. Термометр закрепляли так, чтобы ртутный резервуар находился на глубине 0,3-0,5 м, выдерживали там 8-10 мин. и фиксировали температуру сразу же после его подъема.

Увеличение развития фитопланктона, в частности сине-зеленых водорослей, напрямую зависит от увеличения температуры воды и чаще всего прослеживается в июле (максимум развития цветения водорослей) и уменьшением в октябре (минимум развития сине-зеленых).

Для определения концентрации в воде фосфора фосфатов использовали фотометрический метод молибдата аммония  $(\text{NH}_4)_2\text{MoO}_4$ , основанном на взаимодействии ортофосфата с молибдатом аммония в кислой среде (рН 0,80-0,95) в присутствии сурмьяновинокислого калия с образованием фосфорно-молибденовой гетерополикислоты, которая при восстановлении образует «молибденовую синь». Как восстановитель использовали аскорбиновую кислоту. Оптическую плотность растворов измеряли при  $\lambda = 690$  нм (красный светофильтр) [2].

Прослежено повышение концентрации фосфатов с апреля по май, значительное снижение в июне, повышение в июле, значительный рост в августе, минимальные концентрации в сентябре и повышение в октябре.

Как известно [5] чаще всего вследствие «цветения» воды интенсивно развиваются синезеленые водоросли, которые занимают доминирующее положение в гидробиоценозах. Во-первых, синезеленые водоросли обладают колоссальным потенциалом размножения: за вегетационный период (примерно 70 дней) одна клетка может дать 1020 потомков, в то время как среди жителей фауны водоема практически нет животных (беспозвоночных, рыб), которые бы активно потребляли синезеленые водоросли и способствовали регулированию их численности. Во-вторых, клетки синезеленых водорослей выработали в течении многомиллионной эволюции высокую устойчивость к воздействию неблагоприятных факторов окружающей среды - резких перепадов температуры и освещенности, обезвоживания, наличия различных химических соединений и т.д. Одной из адаптаций, защищающей клетки, является слизь, которая покрывает их чехлом и защищает от вредных воздействий. В-третьих, наиболее благоприятным условием для размножения сине-зеленых водорослей принадлежит низкое содержание кислорода. Не угнетает синезеленые водоросли и высокая концентрация в воде органических соединений. Они прекрасно себя чувствуют в этом «кузваре», поскольку для них характерен миксотрофизм, или смешанный тип питания.

Минимальные показатели фосфатов в исследуемом водоеме зафиксированы в сентябре, что связано с большим количеством осадков и значительным в результате этого поверхностным стоком. Кроме того, большое количество подвижной формы фосфора переходит в валовую (неподвижную) и оседает на дне водоемов.

Осеннее повышение содержания фосфатов связано с высвобождением фосфора из отмершего фитопланктона.

Проанализировано также, что увеличение концентрации фосфора в водоеме способствует увеличению биомассы фитопланктона, а при снижении содержания фосфатов численность фитопланктона снижается, что может быть следствием повышенного антропогенного воздействия на водоем.

Водоем реки Серет находится в большой степени под влиянием антропогенной нагрузки, что проявляется в достаточно низкой концентрации растворенного кислорода. Изучение сезонной динамики содержания растворенного кислорода и фосфатов показало, что, несмотря на неоднородность климатических и гидрологических условий в гидроэкосистемах и их географическое расположение, со снижением концентрации кислорода увеличивается концентрация фосфатов и наоборот.

Установлено, что весной между содержанием растворенного кислорода и фосфатами в воде установлена прямая взаимосвязь, что обусловлено началом фотосинтетической активности высших водных растений и водорослей и прямым поступлением фосфатов в водоем из разных источников. Летом и осенью кислород расходуется на окисление гуминовых и других веществ, а содержание фосфатов увеличивается за счет их поступления из донных отложений.

Изменение показателей температуры влияет на изменение химических показателей воды, которые, в свою очередь, регулируют содержание фосфатов в воде. В частности, рост температуры весной и летом тесно связан с увеличением содержания фосфатов в воде вследствие роста количества растворенного кислорода и постепенного процесса окисления [2].

Динамика развития фитопланктона влияет на изменения концентрации фосфатов в воде. С началом вегетации водорослей весной содержание фосфатов несколько снижается, однако выравнивается за счет поступления их из внешних источников. В начале лета, когда происходит активная вегетация фитопланктона, содержание фосфатов снижается, однако до конца сезона выравнивается за счет поступления их из органического вещества. Осенью водоросли практически завершают свою жизнедеятельность, тем самым регулируя увеличение или уменьшение содержания фосфатов в водоеме.

Результаты исследований [3] позволяют утверждать, что фосфаты, попав в водную среду, негативно влияют как на отдельных представителей биоты, так и гидроэкосистемный уровень. Самым опасным явлением является эвтрофикация. Умеренная эвтрофикация в целом положительно влияет на биологические показатели водоемов, в частности на рыбопродуктивность. При загрязнении природных вод поверхностно-активными веществами и другими соединениями, в частности фосфатами, биологическая продуктивность водоемов, как правило, падает, снижается жизнедеятельность многих организмов, исчезают отдельные уровни трофических цепей, и в конечном итоге отмирают целые экосистемы.

Проанализировано, что на исследуемом участке р. Серет превосходящие значение эколого-санитарных показателей качества воды изменяются в диапазоне «предельно чистая» (разряд 1) – «грязная» (разряд 5а). По насыщенности кислородом, содержанием нитратного азота и окраской вода чаще всего бывает «предельно чистой» (разряд 1), «очень чистой» (разряд 2а) и «полностью чистой» (разряд 2б). Взвешенные вещества, содержание фосфатов и аммонийного азота колеблются в зависимости от сезонов от величин, характерных для «слабо загрязненных» (разряд 3б) до «в меру и сильно загрязненных» (разряд 4а и 4б), по значениям рН воды и БПК5 вода соответствует в большинстве случаев «по мере загрязненным» (разряд 4а) – «грязным» (разряд 5а) водам [4].

Согласно исследованиям [5] наибольшим видовым богатством и количественными показателями в р. Серет характеризовались отделы *Bacillariophyta* и *Chlorophyta*; не меньшую долю занимали и *Cyanophyta* (сине-зеленые водоросли), которые в наибольшей степени провоцируют развитие эвтрофикационных процессов в водоемах.

По значению индекса сапробности реку Серет отнесли к β-мезосапробной зоне (умеренно загрязненная вода) [5].

Итак, анализ полученных данных (содержания фосфатов и физико-химических показателей) и сопоставление их с литературными данными развития фитопланктона в водоеме свидетельствует о развитии эвтрофикационных процессов, который возможно предупредить уменьшением поступления загрязняющих веществ в реку и соблюдение санитарных правил на водозаборе.

Уровень антропогенной нагрузки влияет на основные физико-химические и гидрохимические показатели реки Серет (содержание растворенного кислорода, температура воды), что, в свою очередь, негативно сказывается на содержании фосфатов. Водоем характеризуются низкими концентрациями растворенного кислорода в воде, со снижением которого увеличивается концентрация фосфатов и наоборот.

Установлено, что с повышением температуры воды реки увеличивается концентрация фосфатов и наоборот, а увеличение развития фитопланктона, в частности синезеленых водорослей, напрямую зависит от увеличения температуры воды.

Установлено, что степень загрязненности соединениями фосфора водоемов Тернополя умеренно высокая. Это обусловлено значительными сбросами загрязненных сточных вод предприятиями жилищно-коммунального хозяйства и перерабатывающей промышленности, а также несовершенным функционированием очистных сооружений города и их устарелостью.

Показано, что увеличение концентрации фосфора в водоеме способствует увеличению биомассы фитопланктона, а при снижении содержания фосфатов численность фитопланктона снижается, что может быть следствием повышенного антропогенного воздействия на водоем.

Зафиксировано развитие эвтрофикационных процессов в р. Серет, которые возможно предупредить уменьшением поступления загрязняющих веществ в реку и соблюдение санитарных правил на водозаборе.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Васильчук Т.А., Осипенко В.П., Евтух Т.В. Особенности миграции и распределения основных групп органических веществ в воде Киевского водохранилища в зависимости от кислородного режима / Т.А. Васильчук, В.П. Осипенко, Т.В. Евтух // Гидробиологических журнал. - 2010. - 46(6). С.105-115.
2. Методика выполнения измерений «Поверхностные и очищенные сточные воды. Методика выполнения измерений массовой концентрации растворенных ортофосфатов фотометрическим методом» //МВВ081/ 12-0005-01 от 16.11.2001. – 17 с.
3. Прокопчук А. И. Взаимосвязь содержания фосфатов с физико-химическими параметрами воды в реках Тернопольщины с разным типом антропогенного воздействия // Proceedings of the III International Scientific and Practical Conference «Innovative Technologies in Science». - 2017. - 3 (19). С.16-19.
4. Прокопчук А.И., Грубинко В.В. Фосфаты в водных экосистемах / А.И. Прокопчук, В.В. Грубинко // Научные записки Тернопольского национального педагогического университета имени Владимира Гнатюка. Сер. Биология. – 2013. – 3 (56). – С. 78-85.
5. Прокопчук Е. И. Фитопланктон малых рек Тернопольской области и связь его количественных показателей с содержанием фосфора в воде //Гидробиологических журнал. 2017. Т. 53, № 3. – С. 41-49.