

Таблица 5. Значения показателей органического вещества и концентраций марганца в воде исследованных водных объектов

Водный объект	БПК ₅ , мгО ₂ /дм ³	Цветность, град.	ПО, мгО/дм ³	Mn, мг/дм ³
р. Жукопа	3.8	300	47.0	0.06
р. Селижаровка	2.5	45	12.7	0.02
оз. Селигер	2.6	30	10.4	0.02
р. Большая Коша	2.1	90	18.4	0.01
р. Малая Коша	1.6	100	18.8	0.04
р. Итомля	2.1	100	18.4	0.04
р. Сишка	1.6	45	8.2	0.06
р. Вазуза	1.9	50	9.0	0.07
р. Держа	1.9	50	9.0	0.07
р. Орша	1.4	200	36	0.10
р. Дойбница	2.3	106	18	0.09
р. Сучок	3.4	80	35.9	0.35
р. Донховка	1.9	131	26.7	0.14
р. Созь	3.0	158	30.8	0.02
Иваньковское водохранилище	2.8	55	9.8	0.02

В воде притоков Иваньковского водохранилища, антропогенная нагрузка на которые более значительная, чем на притоки верхнего участка Волги, отмечается более высокие концентрации нитратного азота, сульфатов и хлоридов (табл. 3, 4). Вода большинства притоков Иваньковского водохранилища в летний период более минерализована, чем в самом водоеме, за счет увеличения роли подземных вод в питании водотоков. В воде притоков Иваньковского водохранилища отмечались также более высокие значения цветности, ПО и более высокие концентрации железа общего, марганца, биогенных элементов и сульфатов по сравнению с водой водохранилища.

Список литературы

- Григорьева И.Л., Комиссаров А.Б. Сравнительная гидрохимическая оценка современного состояния некоторых водных объектов Верхней Волги // Водные ресурсы. 2014. Т. 41. № 3. С. 269–283.
- Григорьева И.Л., Ланцова И.В., Тулякова Г.В. Геоэкология Иваньковского водохранилища и его водосбора. Конаково, 2000. 248 с.

УДК 556.53:546.17

ФАКТОРЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ГОМЕОСТАЗА АЗОТА В ЭКОСИСТЕМЕ МАЛОЙ РЕКИ

В. В. Грубинко, И. Л. Суходольская, И. Б. Грюк

Тернопольский национальный педагогический университет имени Владимира Гнатюка,
46027, Украина, г. Тернополь, ул. М. Кривоноса, 2. E-mail: v.grubinko2@yahoo.com

Поддержание гомеостаза азота в экосистеме малой реки определяется как природными (химическая и биологическая трансформация), так и антропогенными факторами. Одними из основных факторов, наиболее выраженными в малых реках Ровенской области, являются: температура, содержание кислорода, водородный показатель (рН), аммоний фиксирующая способность водных растений и планктонных водорослей.

Ключевые слова: соединения азота, гомеостаз, факторы, поверхностные воды, малые реки.

MAINTAINING FACTORS OF HOMEOSTASIS OF NITROGEN WITHIN SMALL RIVER ECOSYSTEM

V.V. Grubinko, I.L. Sukhodolska, I.B. Gryuk

Ternopil Volodymyr Hnatyuk National Pedagogical University
46027, Ukraine, Ternopil, M. Kryvonis St. 2. E-mail: v.grubinko2@yahoo.com

Maintenance of nitrogen homeostasis in the ecosystem of the small river is defined by the natural factors (chemical and biological transformation) as well as anthropogenic factors. Some of the main factors, the most pronounced in the small rivers of Rivne region, are temperature, oxygen content, pH value, water plants and plankton algae (ability to connect ammonium).

Keywords: nitrogen compounds, homeostasis, factors, surface water, small rivers.

В современных условиях техногенеза антропогенные потоки загрязняющих веществ вовлекаются в природный круговорот. Преимущественно они иммобилизуются на территориях водосборного бассейна водоемов, а затем с водотоками достигают конечного водоема (Максимова, 2012). Антропогенное воздействие приводит к нарушению гомеостаза природной биогеохимической сбалансированности экосистемы водоема и химических циклов. В современных условиях водоемов, прежде всего, нарушаются циклы жизненно важных элементов — азота и фосфора. Азот присутствует в природных водах в виде разнообразных неорганических и органических соединений, главным образом в составе аминокислот и белков организмов и продуктов их распада. К числу неорганических соединений относятся аммонийные — NH₄⁺, нитритные — NO₂⁻ и нитратные — NO₃⁻ ионы. Превращение этих соединений взаимосвязаны, они могут превращаться друг в друга и поэтому рассматриваются как совместная целостная система. Поведение соединений азота вызывает повышенный интерес, так как они являются важным показателем загрязнения вод, поскольку имеют высокую токсичность для гидробионтов и человека.

Цель нашего исследования состояла в изучении содержания соединений азота и факторов формирования их гомеостаза в малых реках с различным уровнем антропогенной нагрузки. Районом исследований была Ровенская область (Украина), в которой условно выделено 4 типа территорий, отличающихся по уровню антропогенной нагрузки: рекреационная (р. Простынь), аграрная (р. Иква), урбанизированная (р. Устя, г. Ровно) и техногенотрансформированная (р. Устя, г. Здолбунов). Проанализировано 288 проб воды, отобранных из контрольных створов малых рек в течение 2012–2013 гг.

Малые речные бассейны исследованных территорий весьма чувствительны к антропогенным нагрузкам и, несмотря на достаточно высокую способность к самоочищению, отвечают на эти нагрузки негативными изменениями химического состава воды.

Известно, что в незагрязненных поверхностных водах с преобладанием слабощелочной среды концентрация аммонийного азота может составлять $n \cdot 10^{-3}$ – $n \cdot 10^{-2}$ мг/дм³ (Бочаров и др., 2004). Содержание NH₄⁺ во всех исследуемых малых реках Ровенской области превышала ПДКрыбхоз (рис. 1).

В водоеме рекреационной территории минимальные значения содержания NH₄⁺ наблюдали в июле (0.460 мг/дм³), максимальные — в июне (1.814 мг/дм³), что превышает ПДК рыбхоз. (ПДК(NH₄⁺) рыбхоз. = 0.5 мг/дм³) в 3.6 раза. В реке урбанизированной территории минимальное значение содержания аммонийного азота наблюдали в июле (0.591 мг/дм³), максимальное — в марте (2.991 мг/дм³), что превышает ПДКрыбхоз. в 1.1 раза и 6.0 раза соответственно. В водном объекте аграрной территории содержание аммонийного азота колебалось от минимального значения в августе (0.283 мг/дм³) до максимального в марте (2.074 мг/дм³). В малой реке техногенотрансформированной территории концентрация NH₄⁺ менялась на протяжении исследуемого периода от минимального в январе (0.397 мг/дм³) до максимального в марте (1.351 мг/дм³).

Увеличение содержания аммонийного азота, по-видимому, обусловлено рядом факторов, среди которых главным является хозяйственная деятельность: сброс в водоем промышленных, хозяйственно-бытовых и сточных вод. Высокое содержание аммония, в том числе и на рекреационной территории, результат антропогенного влияния.

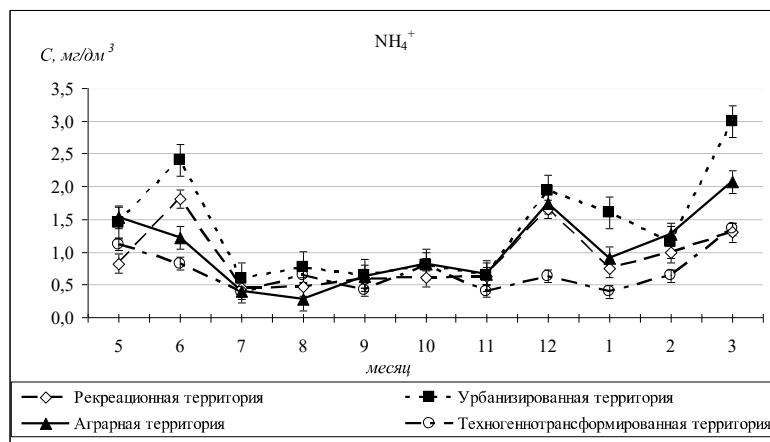


Рис. 1. Содержание NH₄⁺ в воде малых рек на протяжении мая–декабря 2012 г. и января–марта 2013 г. (M ± m; n = 5–6).

Известно, что нитриты — промежуточный продукт биохимического окисления аммиака или восстановления нитратов (Алекин, 1948). В поверхностных водах нитриты находятся в растворенном виде. Их повышенное содержание указывает на усиление процессов разложения органических веществ в условиях более медленного окисления NO₂⁻ в NO₃⁻, что свидетельствует о загрязнении водного объекта.

Содержание нитритов на рекреационной территории изменялось от 0.002 мг/дм³ в июле и августе до 0.006 мг/дм³ в мае и находилось в пределах ПДКрыбхоз. в течение всего периода исследования (ПДК(NO₂⁻) рыбхоз. = 0.08 мг/дм³). Минимальная концентрация нитритов в воде реки урбанизированной территории была обнаружена в августе и сентябре (0.002 мг/дм³), максимальная — в мае (0.010 мг/дм³). Анализ содержания нитритов воде реки аграрной территории показал, что данный показатель находится в пределах допустимых норм ПДКрыбхоз. Содержание NO₂⁻ в реке техногенотрансформированной территории изменялось от минимального в августе (0.003 мг/дм³) до максимального в ноябре (0.008 мг/дм³). Следует отметить, что увеличение концентрации нитритов в реках рекреационной и урбанизированной территорий выявляется в весенний период (май). В реках аграрной территории увеличение содержания NO₂⁻ наблюдали в конце лета (август) и весной, техногенотрансформированной — осенью и весной (рис. 2).

Нитрат-ион является конечным продуктом сложного процесса минерализации органического вещества. Скорость отдельных звеньев этого процесса различна (Алекин, 1948). Минимальные значения содержания нитратов в реке рекреационной территории наблюдали в октябре (0.014 мг/дм³), максимальные — в мае (0.124 мг/дм³). В реке урбанизированной территории минимальная концентрация NO₃⁻ обнаружена в сентябре — 0.008 мг/дм³, максимальная — в марте (0.153 мг/дм³). Содержание нитратов водного объекта аграрной территории колебалось от минимального в июне (0.026 мг/дм³) до максимального в марте (0.170 мг/дм³). Минимальная концентрация нитратов в реке техногенотрансформированной территории обнаружена в августе (0.013 мг/дм³), максимальная — в ноябре (0.156 мг/дм³). Нитратный азот в воде исследованных рек регистриро-

вался в следовых количествах, его концентрации не превышали ПДКрыбхоз. (ПДК (NO_3^-) рыбхоз. = 40.0 мг/дм³) (рис. 3).

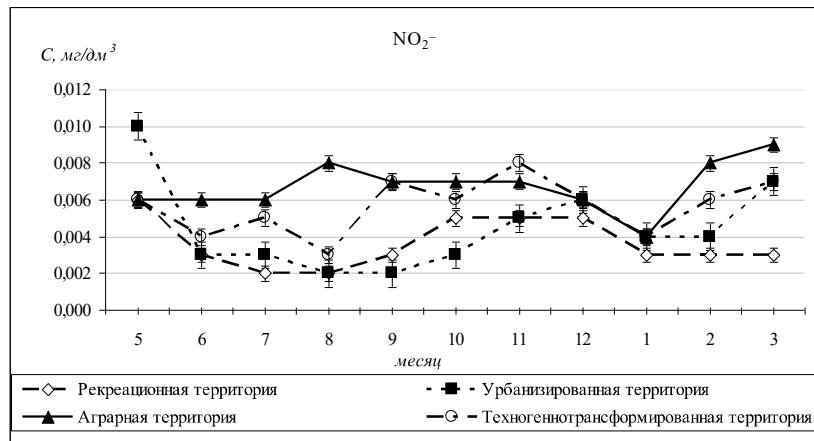


Рис. 2. Содержание NO_2^- в воде малых рек на протяжении мая–декабря 2012 г. и января–марта 2013 г. ($M \pm m$; $n = 5–6$).

Существенными факторами поддержания гомеостаза азота в экосистеме малой реки является содержание растворенного кислорода и pH воды, показатели которых изменяются в зависимости от уровня антропогенной нагрузки.

Минимальные концентрации растворенного кислорода в поверхностных водах рекреационной территории наблюдали в мае (2.97 мг/дм³ при 16.9°C), максимальные — в сентябре (4.61 мг/дм³ при 16.8°C). Содержание растворенного кислорода в реке урбанизированной территории было минимальным, как и на рекреационной территории, в мае и составляло 2.96 мг/дм³ при 21.2°C, максимальным — в октябре (4.79 мг/дм³ при 15.2°C).

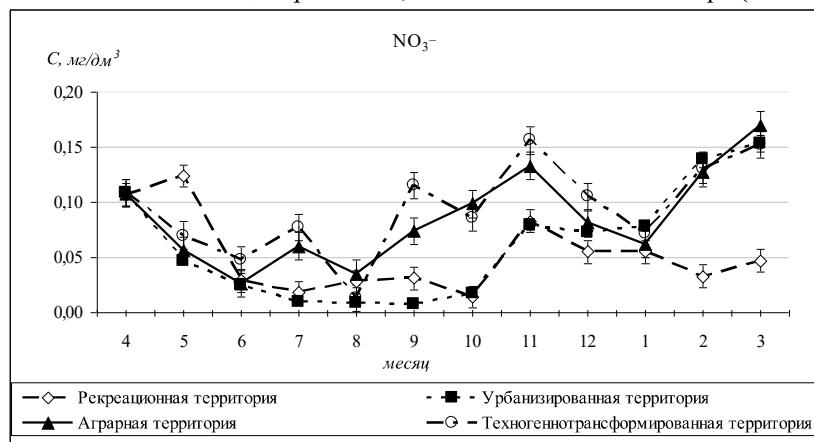


Рис. 3. Содержание NO_3^- в воде малых рек на протяжении апреля–декабря 2012 г. и января–марта 2013 г. ($M \pm m$; $n = 5–6$).

В поверхностных водах аграрной территории содержание O_2 варьировало от 3.15 мг/дм³ в мае при 20.0°C до 4.91 мг/дм³ в октябре при 15.0°C. Самые низкие концентрации O_2 в реке техногенноизмененной территории были обнаружены в июне (3.26 мг/дм³ при 15.3°C), самые высокие — в августе (4.77 мг/дм³ при 16.0°C) (рис. 4).

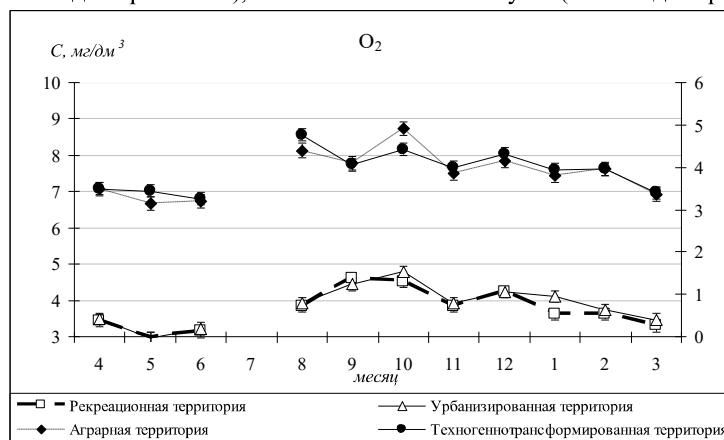


Рис. 4. Динамика среднемесячного содержания растворенного кислорода в воде малых рек в течение апреля–декабря 2012 г. и января–марта 2013 г. ($M \pm m$; $n = 5–6$).

При анализе показателей pH в поверхностных водах рекреационной территории следует отметить скачкообразные изменения значений, которые колебались от 4.11 в августе до 9.26 в ноябре. pH воды в реке урбани-

зированной территории изменялся от 5.04 в июле до 9.36 в ноябре. В реке аграрной территории минимальные значения pH были зафиксированы в августе (4.21), максимальные — в ноябре (8.74). В воде техногенно-трансформированной территории наблюдалась такая же тенденция, как и на рекреационной территории, значение pH изменялось от 4.19 в августе 8.67 — в ноябре (рис. 5).

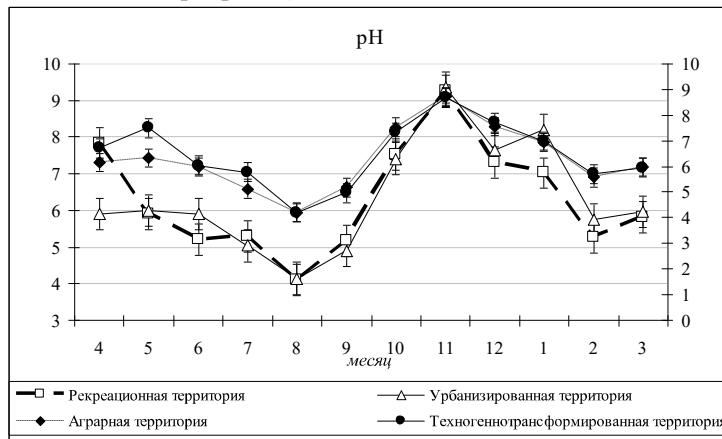


Рис. 5. Среднемесячные изменения значения pH воды малых рек в течение апреля–декабря 2012 г. и января–марта 2013 г. ($M \pm m$; $n = 5–6$).

Основными процессами, определяющими баланс химических веществ в речных водах, являются их поступление: со сточными водами промпредприятий, коммунального и сельского хозяйства; диффузным путем, как естественного, так и антропогенного характера; в результате внутриводных (физических, химических, биохимических и др.) процессов преобразования веществ.

Главным источником поступления соединений азота в поверхностные воды считают почвенный покров, атмосферные осадки, растения и т.д. В пресных водоемах нитраты и аммоний активно используется растениями. Их содержание в водоемах, очевидно, будет определяться соотношением между поступлением и потреблением растительными организмами, в частности фитопланктоном и высшей водной растительностью. В свою очередь, основными потребителями неорганических соединений азота в воде рек являются полностью погруженные (рдесты, роголистник, элодея канадская и др.) и свободноплавающие гидрофиты (ряски и др.) (Лукина, Смирнова, 1988.). Аэрогидрофиты (камыш, рогоз и др.) имея хорошо развитую корневую систему, поглощают соединения азота непосредственно из почвы, поэтому в их зарослях обычно фиксируется повышенное содержание аммонийного азота (Журавлева, 1989).

В водотоке рекреационной территории широко представлены *Potamogeton pectinatus* L., *Potamogeton perfoliatus* L. и *Typha angustifolia* L. Наиболее распространены среди видов реки урбанизированной территории сообщества *Ceratophyllum demersum* L., *Sagittaria sagittifolia* L. и *Typha angustifolia* L. На аграрной территории часто встречаются сообщества *Lemna minor* L., *Sagittaria sagittifolia* L. и *Typha angustifolia* L. На техногенно-трансформированных территориях в местах хорошего водообмена развиваются достаточно большие куртины *Sagittaria sagittifolia* L., *Elodea canadensis* Mich. и *Typha angustifolia* L. Стоит отметить, что *Typha angustifolia* L. доминировал в ценозах прибрежно-водных растений на всех исследуемых территориях и определял общий аспект водотока.

Содержание соединений азота в водоеме наряду с климатическими и гидрологическими условиями в значительной степени определяет интенсивность фотосинтеза и скорость развития фитопланктона. Особенно большое значение имеет обеспеченность водорослей азотом, поскольку он активно включается в образование основных компонентов клетки.

В фитопланктоне водных объектов разнотипных территорий Ровенской области обнаружено 199 видов (205 внутривидовых таксонов — ВВТ) планкtonных водорослей. Снижение содержания NH_4^+ , NO_3^- в реках исследованных территорий связано с процессами их поглощения фитопланктоном. Главное отличие между поглощением NO_3^- и NH_4^+ заключается в их чувствительности к pH среды: NH_4^+ лучше усваивается при нейтральном pH (≈ 7), в то же время оптимальными условиями для поглощения NO_3^- является кислая реакция (pH ≈ 5.5) (Макрушина, 2006.). Практически везде ведущая роль в формировании видового богатства и количественных показателей планкtonных водорослей принадлежала отделам *Chlorophyta*, *Bacillariophyta* и *Euglenophyta*. В целом, количество видов возрастало от весны к концу лета.

Существует большое количество факторов, оказывающих влияние на интенсивность трансформационных процессов и формирование биологических ресурсов в водных экосистемах. Благодаря им в водоемах происходит постоянный обмен биогенными элементами, поддерживается природное равновесие. Однако каждая экосистема характеризуется своими природно-климатическими особенностями, а, следовательно, и факторами. Одними из основных факторов, наиболее выраженными в малых реках Ровенской области, являются: температура, кислород, водородный показатель (pH), видовое богатство, развитие высшей водной растительности и планкtonных водорослей.

Таким образом, поддержание гомеостаза азота в экосистеме малой реки определяется как природными, так и антропогенными факторами, соотношение которых наиболее четко прослеживается по пространственно-временной динамике иона аммония.

Список литературы

- Алекин О.А. Общая гидрохимия: монография. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1948. 208 с.
Бочаров В.Л., Титова Л.Н., Стrogонова Л.Н. Экологическая гидрохимия. Русско-английский словарь-справочник основных терминов и понятий. Воронеж: Воронеж. гос. ун-т, 2004. 220 с.
Вода питьевая. Методы анализа. Государственные стандарты СССР. Москва, 1984. 324 с.
Журавлева Л.А. Режим биогенных веществ // Днепровско-Бугская эстуарная экосистема. Киев, 1989. С. 58–66.
Лукина Л.Ф., Смирнова Н.Н. Физиология высших водных растений. Киев: Наук. думка, 1988. 188 с.
Максимова М.П. Воздействие техногенеза на гидросферу. Методика оценки антропогенного химического речного стока в моря // Вестник Московского государственного областного университета. Сер. «Естественные науки». Москва, 2012. № 2. С. 89–96.
Фізіологія рослин. / За редакцією професора М. М. Макрушина. Підручник. Вінниця: Нова Книга, 2006. 416 с.

УДК 661.718.1:504.453

ФАКТОРЫ ПОДДЕРЖАНИЯ ГОМЕОСТАЗА ФОСФОРА В ЭКОСИСТЕМЕ МАЛОЙ РЕКИ

В. В. Грубинко, Е. И. Прокопчук

Тернопольский национальный педагогический университет им. В.Гнатюка, 46020 г. Тернополь, ул. М.Кривоноса, 2,
y.grubinko2@yahoo.com

Проведено исследование содержания соединений фосфора в воде малых рек с разным уровнем антропогенной нагрузки (преимущественно аграрная деятельность, урбозагрязнение, рекреационная территория) в Тернопольской области Украины за период с I квартала 2008 г. по IV квартал 2013 г. Установлены динамичные равнoperiodичные изменения максимумов и минимумов содержания фосфатов (в 10–15 раз на протяжении 1.5–2 лет), которые скорее всего не связаны с интенсивностью поступления фосфорных соединений, а определяются буферной емкостью экосистемы реки по отношению к фосфатам и ее способностью к самоочищению.

Ключевые слова: малая река, фосфор фосфатов, антропогенная нагрузка.

A research of phosphorus in the water of small rivers with different levels of anthropogenic stress (mainly agricultural activities, urban pollution, recreation area) in the Ternopil region of Ukraine for the period from I quarter of 2008 till IV quarter of 2013 was held. Dynamic periodic changes of high and low phosphate content were set (10–15 times during the period 1.5–2 years), which are likely not connected with intensity of inflow of phosphorus compounds, and determined by buffer capacity of the river ecosystem in relation to phosphate and its ability to self-purification.

Keywords: small rivers, phosphate phosphorus, anthropogenic factors.

Химический состав воды гидроэкосистем — результат как скорости их поступления с водотоком и в составе поверхностного смыва, так и пространственно-временной динамики протекания геохимических и биохимических процессов в их компонентах. Важную роль в этом взаимодействии играют сезонные изменения гидроклиматических факторов и характера регулирования стока. Они способствуют формированию условий разбалансирования малого круговорота веществ и их накоплению с отдаленными последствиями, например, эвтрофированием водоемов, которое лимитирует, главным образом, содержание соединений фосфора [1]. С одной стороны фосфор является необходимым элементом, определяющим продуктивность водной экосистемы, с другой — избыточное количество фосфорных соединений в водоеме приводит к повышению уровня его трофности и к последующей его деградации [2].

Целью нашего исследования стало исследование сезонной динамики содержания фосфатов в воде малой реки на участках с различным уровнем и характером антропогенной нагрузки на водоем.

Материалы и методы исследований. Для выявления содержания фосфатов в воде реки (р. Серет, Тернопольская обл., Украина) были проанализированы мониторинговые данные в таких точках отбора: «аграрная территория» — характеризуется активным земледелием и животноводством; «урбанизованная территория» — часть реки, протекающая в пределах городской черты г. Тернополь; «рекреационная территория» — территория заповедника. Размещение указанных территорий соответствует порядку упоминания по течению реки с севера на юг на расстоянии примерно 60–80 км одна от другой.

Выделение вышеуказанных территорий было осуществлено согласно эколого-географическому районированию Тернопольской области [6], разработанного на основании влияния хозяйственной деятельности человека на окружающую среду.

Определение содержания фосфатов осуществляли согласно методики [3], основанной на взаимодействии ортофосфата с молибдатом аммония в кислой среде в присутствии сурьмяновиннокислого калия с образованием фосфорномолибденовой гетерополикислоты, которая при восстановлении образует «молибденовую синь». В качестве восстановителя использовали аскорбиновую кислоту.

Результаты исследований. Река Серет является левосторонним притоком Днестра в северо-западной части Волыно-Подольской возвышенности. Ее длина составляет 248 км, площадь водосборного бассейна — 3900 км². Ширина реки 10–20 м, глубина — 1.5–2.5 м, скорость течения (0.6 м/с), дно илистое, вязкое. Питание реки смешанное, но осуществляется в основном за счет талых и дождевых вод, поэтому четко выделяются периоды весеннего половодья и низкой летне-осенней межени с выраженным дождовыми паводками. Весеннее