

УДК 574.21

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ВОДЫ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДОТОКОВ БАССЕЙНА РЕКИ ЦНЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ БИОИНДИКАЦИИ

© М.Е. Буковский, Н.Н. Коломейцева, А.Ю. Клоков, А.А. Олейников

Ключевые слова: качество поверхностных вод; биоиндикация; сапробность; донный грунт; устойчивость к загрязнению.

В статье рассматриваются вопросы контроля качества вод поверхностных водотоков с помощью методов биоиндикации. Обсуждаются результаты оценки качества воды и устойчивости донного грунта к загрязнениям в бассейне реки Цны.

ВВЕДЕНИЕ

Вода сопровождает нас везде и всюду. Мы видим ее в морях и океанах, реках и озерах. Она падает с неба во время дождя и течет из крана на кухне. Вода – своеобразный минерал, являющийся необходимым во все времена и везде, где будут существовать земные формы жизни. Поверхностные водоемы и водотоки являются одним из основных источников воды для человека. Вода из рек используется человеком для самых разнообразных нужд. Кроме того, поверхностные водотоки имеют рекреационное и эстетическое значение.

Поддержание экологического состояния водотоков на уровне, не представляющем опасности для жизни и здоровья населения, является одной из ключевых задач современных урбанизированных территорий. При этом на первый план выдвигается проблема контроля качества воды поверхностных водотоков.

Качество воды в бассейне реки Цны на территории Тамбовской области контролируется химическими лабораториями ГУ «Центр по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды» и ГФУ «Цнинская шлюзованная система» [1]. Однако количество наблюдательных створов у перечисленных организаций крайне невелико. Они приурочены, в основном, к городам и к границам области. Далеко не на всех притоках реки Цны первого порядка имеются наблюдательные створы.

В настоящее время недостаточность системы контроля, основанной только на дифференцированном определении загрязнителей и сопоставлении их с ПДК, стала очевидна [2]. В связи с этим, мировой водоохранной практикой в последние годы предпочтение все больше отдается биологическому анализу с последующим привлечением в случае необходимости химической экспертизы. Введение биологического анализа в практику контроля качества водных ресурсов рекомендует Директива Европейского парламента и Совета Европейского Союза № 2000/60/ЕС от 23 октября 2000 г., устанавливающая основы для деятельности ЕС в области водной политики.

Биологический контроль качества вод имеет ряд преимуществ перед химическими и физическими мето-

дами контроля. Он позволяет оценить последствия как постоянного, так и разового загрязнения. Очевидным преимуществом биологического контроля является его значительно более низкая стоимость.

В бассейне реки Цны проводились оценки качества воды по сапробности гидробионтов в районе города Моршанска, расположенного в северной части Тамбовской области [3–5].

Новизна настоящей работы заключается в оценке с помощью методов биоиндикации качества воды в реке в комплексе с оценкой устойчивости донного грунта к загрязнению, а также в расширении ареала исследований.

При выполнении работы решались следующие задачи:

- оценка качества воды в реках бассейна реки Цны;
- оценка устойчивости донного грунта к загрязнению.

ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование по оценке качества воды и устойчивости донного грунта к загрязнению было проведено группой исследователей в середине и конце августа 2009 г. на семи створах в бассейне реки Цны на территории Тамбовской области. Три створа располагались на реке Цне у города Котовска (центральная часть области), два створа – на реке Цне у города Моршанска (северная часть области). Оставшиеся два створа были расположены в нижнем течении реки Кашмы – правого притока реки Цны, также в северной части Тамбовской области.

Река Цна является самой крупной рекой Тамбовской области, относится к бассейну Волги. Она берет начало на территории области близ села Бахарево на высоте 185–190 м над уровнем моря на водоразделе рек Волги и Дона и течет в субмеридиональном направлении, пересекая две третьих территории области с юга на север. Далее Цна течет по территории Рязанской области и впадает в реку Мокшу севернее города Сасово. В бассейне реки Цны находится Цнинский лесной массив. Наиболее распространенными формами релье-

фа являются долины рек и балки, дюны и котловины выдувания, слабоволнистые водоразделы. В ее долине расположены многие населенные пункты дачные участки, пашни и пастбища.

Местоположение исследовательских створов определялось исходя из следующих принципов. Котовск – первый от истока и в среднем течении реки Цны крупный населенный пункт городского типа, расположенный в ее долине и непосредственно на берегах. Моршанск – последний крупный населенный пункт городского типа в долине реки Цны в среднем течении, а также последний крупный населенный пункт на ее берегах в Тамбовской области. Створы располагались выше и ниже по течению относительно городов, что дополнительно предоставляло возможность определить влияние города на качество воды в реке. Первый же по течению реки Цны створ был расположен значительно выше по течению относительно г. Котовска на территории с относительно небольшой антропогенной нагрузкой у с. Кузьмина Гать Тамбовского района.

В северной части Тамбовской области, ближе к нижнему течению реки Цны для проведения исследований был выбран один из ее притоков, сопоставимый по морфометрическим характеристикам и степени антропогенной нагрузки с местом расположения первого створа на реке Цне. Этим притоком оказалась река Кашма, в нижнем течении которой были расположены еще два створа, один из которых располагался у д. Марусино Моршанского района, второй – в 500 метрах от впадения Кашмы в реку Цну.

Отдельно следует отметить, что створ, расположенный ниже по течению относительно города Котовска, тем не менее, расположен выше по течению относительно точки сброса сточных вод с городских очистных сооружений. Это связано с тем, что сброс очистных сооружений находится на значительном удалении от города, а также с тем, что между городом и точкой сброса городских сточных вод находится сброс сточных вод с очистных сооружений другого населенного пункта. В связи с этим в полной мере оценить влияние г. Котовска на качество воды в реке Цне представляется весьма затруднительно.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Общие подходы в разработке количественных методов гидробиологического контроля базируются на следующих двух принципах и представлениях [6]:

- *функциональное* (балансовое или продукционно-энергетическое) направление, изучающее продукционный метаболизм вещества и энергии в водоемах,
- *структурное* (популяционное) направление, оценивающее целостность структуры экосистемы и ее отдельных компонентов на всех уровнях.

Методики биологического определения качества воды используют несколько различных подходов [7].

1. Оценка качества экосистемы по соотношению показателей обилия.
2. Оценка качества экосистемы по индексам видового разнообразия.
3. Оценка качества водоемов и биоценозов по сапробности.

4. Оценка качества экосистемы по соотношению количества видов, устойчивых и неустойчивых к загрязнению.

5. Оценка качества экосистем по нескольким показателям.

В своих исследованиях мы придерживались третьего подхода, оценивая качество поверхностных вод по сапробности гидробионтов.

Существуют различные системы оценки качества экосистем с использованием сапробности: системы сапробности Р. Кольквитца и М. Марссона [8], В. Сладечека [9], М.В. Чертопруда [10].

При оценке качества воды мы использовали метод, предложенный М.В. Чертопрудом [10]. На каждом створе мы обследовали все многообразие биотопов. Отбор индикаторных организмов проводился в прибрежной части русла с помощью сачка и лопаты. Пробы донного грунта промывали до просветления промывных вод. Разбор проб мы проводили непосредственно на месте сбора. Просматривая организмы в тонком слое воды, мы определяли принадлежность его к какому-либо семейству и, по возможности, виду. Затем вносили все сведения в протокол обследования и фиксировали найденные организмы на цифровой фотоаппарат.

Качество воды определяли при помощи индекса сапробности. Индекс сапробности (S) высчитывался по формуле:

$$S = \frac{\sum s_i \times J_i}{\sum J_i},$$

где s_i – сапробность каждого найденного в пробе индикаторного организма (от 0 до 4), J_i – индикаторный вес вида. Значения сапробности и индикаторного веса для найденных организмов были взяты из таблицы, составленной М.В. Чертопрудом [10].

Оценка устойчивости донного грунта к загрязнению определяется возможностью окисления поступающих в водоток загрязнителей до конечных продуктов разложения. Прежде всего, речь идет об органических загрязнителях. Можно выделить два основных фактора, определяющих буферную емкость донного грунта. Это наличие достаточного количества кислорода для окисления загрязнителей и наличие микроорганизмов, способных разлагать сложные органические соединения до более простых, усваивая последние. Следовательно, оценив окислительно-восстановительные условия среды в донном грунте, а также наличие и активность микроорганизмов-деструкторов, мы можем судить об устойчивости донного грунта к загрязнению, поступающим в водоток.

Разложение органических остатков в донных отложениях происходит вследствие деятельности микроорганизмов, групповой состав которых зависит от уровня окисленности среды. В связи с этим микроорганизмы могут служить биоиндикаторами окислительно-восстановительных условий в указанном субстрате [11]. В окисленных средах, содержащих достаточное количество кислорода, преобладают аэробные микроорганизмы. В средах, где кислорода мало и содержатся восстановители, развиваются преимущественно анаэробы. Анаэробные микроорганизмы активны по отношению к

среде, продукты их жизнедеятельности содержат восстановители, вследствие которых среда субстрата становится еще более восстановленной.

Для оценки уровня окисленности (восстановленности) среды имеются доступные методы. В частности, уровень восстановленности донных отложений, почвы и других субстратов можно ориентировочно определить с помощью аппликационного метода – автографии на фотобумаге [11].

Метод основан на восстановлении бромистого серебра, находящегося в эмульсии засвеченной фотобумаги, восстановительными веществами изучаемого донного грунта. При этом в эмульсионном слое фотобумаги образуется множество частиц металлического серебра в виде черных и бурых пятен. Интенсивность окраски пятен тем больше, чем выше восстановительность среды в местах контакта фотоэмульсии с донным грунтом. Поскольку восстановительные условия в донных субстратах создаются в основном благодаря деятельности анаэробов, на фотобумаге как бы регистрируется уровень активности этих микроорганизмов в грунте. Аэробы цвета фотобумаги не изменяют; она остается практически белой. На полученных отпечатках, называемых автографиями, распределение окисленных и восстановленных зон носит очаговый характер.

Белковые соединения разлагаются многими бактериями, грибами с помощью протеолитических ферментов (протеаз), вырабатываемых микроорганизмами. Под действием протеаз сложная молекула белка распадается на ряд более простых соединений, главным образом, аминокислот, которые усваиваются микроорганизмами. Медленное гниение органических остатков на дне водоема сопряжено с опасностью отравления людей или риском возникновения опасных заболеваний. Донные отложения водоемов, имеющие высокую активность протеолитических ферментов, экологически более устойчивы к белковому загрязнению.

Взаимосвязь способности донных отложений самоочищаться от белкового загрязнения с численностью микроорганизмов, вырабатывающих протеазы, может служить в качестве биоиндикационного метода оценки экологического состояния водоема [11]. В данном случае биоиндикаторами являются микроорганизмы – продуценты протеаз, а параметром индикации – протеолитическая активность донного грунта.

Для изучения активности протеаз применяют аппликационный метод, разработанный Е.Н. Мишустиным и И.С. Востровым [12] и модифицированный Л.Ф. Тарариной [11]. В качестве индикатора протеазной активности метод предусматривает использование рентгеновской пленки, эмульсия которой разрушается микроорганизмами.

Основу эмульсии составляет желатин – денатурированный белок коллаген. Желатин служит питательной средой для микроорганизмов, ферментативно разрушающих белки. При высокой активности протеаз желатиновый слой при контакте с субстратом может быть полностью уничтожен. Если протеазная активность слаба, процессы разрушения пленки идут почти незаметно. В донном грунте с высокой протеазной активностью на большей части поверхности пленки наблюдается значительное разрушение желатинового слоя. При малой активности протеолитических фер-

ментов пораженные участки видны в виде точек и разрозненных матовых пятен малых размеров.

Для оценки устойчивости донного грунта к загрязнениям мы применили оба вышеописанных аппликационных метода. На каждом исследуемом створе мы взяли по 6 интегральных проб донного грунта: по 3 пробы для проведения исследований с помощью каждого метода. В каждую емкость с пробой донного грунта нами было заложено по три полоски рентгеновской пленки размером 2×5 см либо по три полоски фотобумаги размером 4×8 см. Таким образом, по каждому из семи створов нами было заложено в пробы донного грунта по 9 образцов фотобумаги и рентгеновской пленки, что предусматривало возможность последующей статистической обработки результатов. Затем пробы были оставлены на 72 часа в темном, прохладном месте. Затем полоски рентгеновской пленки и фотобумаги извлекались из проб грунта и промывались в проточной воде. После чего были высушены на фильтровальной бумаге.

После того, как полоски рентгеновской пленки высохли, мы определили степень активности протеолитических ферментов, очищающих донный грунт, следующим образом: рентгеновская пленка была помещена в фотоувеличитель, при этом места разрушенного желатинового слоя спроецировались на заранее приготовленную миллиметровую бумагу и были на ней отмечены. Затем мы подсчитали их площадь. Разделив площадь мест, с разрушенным желатиновым слоем, на общую площадь образцов, в процентах вычислили количество разрушенного желатинового слоя, сначала на каждой миллиметровой полоске, затем вычислили среднее арифметическое значение для створа.

Окислительно-восстановительные условия в донном грунте определялись методом экспертных оценок, извлеченных из донного грунта образцов фотобумаги.

Для оценки возможного объема загрязняющих веществ необходимо соотношение результатов биоиндикационных исследований с гидрометрическими характеристиками изучаемого водотока. На каждом исследуемом створе нами были проведены гидрометрические исследования.

Промеры глубин проводились через каждые 5 м с помощью толстой капроновой нити, размеченной через каждые 50 см, с грузом на конце. Ширину замеряли веревкой, она же помогала удержаться на одной линии при измерении глубин. Скорость течения мы измеряли методом поплавков. Максимальную скорость течения на вертикали измеряли, засекая время прохождения верхним поплавком, удерживающимся на поверхности воды строго определенного расстояния. Нижний поплавок погружался на глубину $0,2H$, где H – глубина на данной скоростной вертикали. Измерения проводили на нескольких промерных вертикалях.

Для вычисления средней скорости течения по вертикали мы использовали формулу $V = k \times V_{\max}$, где V – средняя скорость по вертикали; V_{\max} – максимальная скорость; k – коэффициент из таблицы 33 «Практикума по общему земледелию» К.В. Пашканга [13].

Средние скорости между скоростными вертикалями получены путем вычисления среднего арифметического между значениями соседних вертикалей. Площадь поперечного сечения русла определялась путем сложения площадей поперечного сечения между промерными вертикалями, которые в свою очередь вычислялись

при построении поперечного профиля по геометрическим формулам: $S = A \times L / 2$ (крайние) и $S = (A+B) / 2 \times L$, где A, B – значения глубины на соседних вертикалях; L – расстояние между этими вертикалями. Расход воды (Q) в створе вычислялся по формуле $Q = S \times V$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Обработав и проанализировав данные, полученные в ходе проведения гидрометрических замеров, мы составили сравнительную таблицу, отражающую наиболее существенные гидрометрические характеристики исследуемых створов (табл. 1).

Таблица 1

Основные гидрометрические характеристики исследуемых створов

№ п/п	Расположение створов	Средняя скорость течения, м/с	Площадь поперечного сечения, м ²	Расход воды, м ³ /с
1	р. Цна, у с. Кузьмина Гать	0,110	32	3,7
2	р. Цна выше г. Котовска	0,120	55	6,5
3	р. Цна ниже г. Котовска	0,035	191	6,8
4	р. Цна выше г. Моршанска	0,064	361	23,1
5	р. Цна ниже г. Моршанска	0,076	399	30,3
6	р. Кашма у с. Марусино	0,166	15	2,5
7	р. Кашма (устье)	0,181	22	4,0

Из табл. 1 видно, что створы, расположенные на реке Цне у города Котовска, и створы, расположенные на реке Кашме, вполне сопоставимы между собой по гидрометрическим характеристикам. Это означает, что при прочих равных условиях эти водотоки могут справиться с примерно равным объемом поступающих в них загрязняющих веществ. Река Цна у города Моршанска может справиться уже со значительно большим объемом загрязняющих веществ путем простого разбавления стоков, т. к. расход воды в реке здесь значительно выше, чем, например, у города Котовска. Заметная разница в расходах воды между первым и вторым, а также между четвертым и пятым створами объясняется наличием на участках между ними притоков. В первом случае это река Лесной Тамбов, во втором – река Кашма и ручей Лештавка.

Оценивая устойчивость донного грунта к загрязнению, мы принимали во внимание результаты интегральной оценки активности микроорганизмов, выделяющих протеолитические ферменты (рис. 1) и результаты интегральной оценки окислительно-восстановительных условий в донном грунте (табл. 2) по каждому створу. Интегральные оценки получены путем статистической обработки результатов оценки образцов, заложенных в пробы донного грунта, отобранные на каждом исследуемом створе.

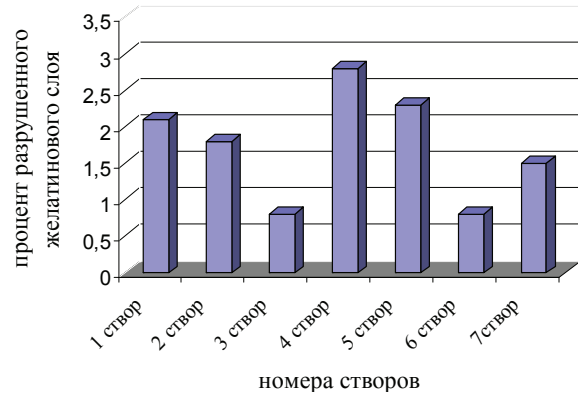


Рис. 1. Оценка протеолитической активности донного грунта

Таблица 2

Окислительно-восстановительная среда донного грунта

№ п/п	Расположение створов	Средняя статистическая экспертная оценка среды донного грунта
1	р. Цна у с. Кузьмина Гать	сбалансированная
2	р. Цна выше г. Котовска	преимущественно восстановленная
3	р. Цна ниже г. Котовска	преимущественно восстановленная
4	р. Цна выше г. Моршанска	преимущественно восстановленная
5	р. Цна ниже г. Моршанска	преимущественно восстановленная
6	р. Кашма у с. Марусино	восстановленная
7	р. Кашма (устье)	восстановленная

Анализ активности микроорганизмов, выделяющих протеолитические ферменты, показывает, что она крайне низка на всех створах. Желатиновый слой на образцах рентгеновской пленки, заложенной нами в пробы донного грунта, был разрушен не более чем на 3 %.

Анализ окислительно-восстановительных условий в донном грунте показал, что в целом на всех створах преобладают восстановительные условия. Лишь на створе у с. Кузьмина Гать ход окислительно-восстановительных процессов в донном грунте можно оценить как сбалансированный. В пробах донного грунта, отобранных на створах реки Кашмы, среда и вовсе может быть охарактеризована как восстановленная.

По результатам разбора определения индикаторных организмов мы рассчитали индекс сапробности для каждого исследуемого створа (рис. 2).

Используя таблицу, составленную М.В. Чертопрудом [14], мы соотнесли вычисленный для каждого створа индекс сапробности с шестиклассной системой оценки качества вод, положенной в основу ГОСТ 17.1.3.07-82. Воды на створах № 1 (р. Цна, с. Кузьмино Гать), № 2 (р. Цна выше г. Котовска), № 3 (р. Цна ниже г. Котовска), № 4 (р. Цна выше г. Моршанска), № 5 (р. Цна ниже г. Моршанска), № 6 (р. Кашма, с. Марусино) относятся к третьему классу качества – умеренно загрязненные. И только воды на створе № 7 (р. Кашма,

500 м от устья) относятся к четвертому классу качества – загрязненные. Следует однако отметить, что практически все значения индекса сапробности, за исключением створов № 4 и 7, находятся в пограничной области значений между третьим и четвертым классом качества вод (индекс сапробности 2,5).

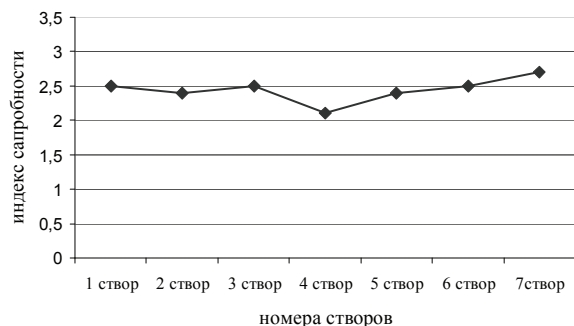


Рис. 2. Качество поверхностных вод по створам

Кроме того, следует отметить, что при сходных гидрометрических характеристиках и антропогенной нагрузке (створы № 1 и 6) показатели качества воды сходны. Показатели устойчивости донного грунта к загрязнению также принципиально не различаются. А вот различие в гидрометрических характеристиках и, соответственно, качестве воды на створах № 2 и 4 при сходной антропогенной нагрузке на водоток выявляет зависимость между расходом воды в реке и качеством воды при прочих равных условиях.

ВЫВОДЫ

Оценивая полученные результаты определения индекса сапробности можно сказать, что качество воды в среднем течении бассейна реки Цны на исследованных нами створах в целом находится в области пограничных значений между третьим и четвертым классом качества. Качество воды ухудшается с ростом антропогенной нагрузки на водотоки. Если влияние г. Котовска не столь заметно, то негативное влияние на качество поверхностных вод г. Моршанска очевидно. При этом следует иметь в виду, что расход воды в реке Цне у г. Моршанска в 4 раза выше, чем у г. Котовска. О причинах столь незначительного влияния на качество воды в реке Цне г. Котовска мы отдельно оговаривались выше.

В целом способность донного грунта рек Цны и Кашмы противостоять загрязнению в точках наших исследований крайне низка. В донном грунте недостаточно кислорода для окисления поступающих загрязнителей, поэтому среда грунта преимущественно восстановленная. Также на всех створах крайне низка про-

теолитическая активность донного грунта, что говорит о слабой способности к разложению загрязнителей белковой природы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доклад о состоянии и охране окружающей природной среды на территории Тамбовской области в 2008 году. Тамбов, 2009. 210 с.
2. Использование интегральных биологических показателей качества поверхностных вод в экологическом обследовании водотоков антропогенно освоенных территорий / Доклад С.Г. Николаева по материалам конференции «Государственно-частное партнерство в сфере водоснабжения и водоотведения: экологическая эффективность решений в инфраструктуре» // НТЦ «Диагностика. Экспертиза. Безопасность»: сайт. Доступ свободный. URL: http://www.ntcdeb.ru/Nikolaev_doklad.htm. Загл. с экрана.
3. Буковский М.Е., Клоков А.Ю., Калинина Ю.В. Качество воды в реке Цне вблизи г. Моршанска // *Фундаментальная наука – ресурс сохранения здоровья здоровых людей: материалы Всероссийского науч. конгресса*. Тамбов: Изд-во ТГУ им. Г.П. Державина, 2008. С. 419-422.
4. Буковский М.Е., Олейников А.А. Комплексная характеристика экологического состояния ручья Лештавка // *Экология речных бассейнов: труды 5 Международной научно-практической конференции*. Владимир, 2009. С. 30-35.
5. Буковский М.Е. Динамика экологического состояния реки Цны у г. Моршанска // *Эколого-географические исследования в речных бассейнах: материалы Третьей Междунар. науч.-практ. конф.* Воронеж: ВГПУ, 2009. С. 188-189.
6. Абакумов В.А. Продукционные аспекты биомониторинга пресноводных экосистем // *Продукционно-гидробиологические исследования водных экосистем*. Л.: Наука, 1987. С. 51-61.
7. Баканов А.И. Использование зообентоса для мониторинга пресноводных водоемов // *Биология внутренних вод*. 2000. № 1. С. 68-82.
8. Kolkwitz R., Marsson M. Grundsätze für die biologische Beurteilung des Wassers nach seiner Flora und Fauna // *Mitteil. aus der konigl. Prufungang für Wasserbesorg. und Abwasserbes.* 1902. H. 1. S. 33.
9. Sládeček V. The future of the saprobity system // *Hydrobiologia*. 1965. V. 25. № 3.
10. Чертопруд М.В. Качество и охрана вод, экологические аспекты. Модификация метода Пантле-Букка для оценки загрязнения водотоков по качественным показателям макробентоса // *Водные ресурсы*. 2002. Т. 29. № 3. С. 337-342.
11. Тарарина Л.Ф. Экологический практикум для студентов и школьников. (Биоиндикация водной среды.) М.: Аргус, 1997.
12. Мишустин Е.Н., Востров И.С. Аппликационные методы в почвенной микробиологии // *Микробиологические и биохимические исследования почв*. Киев, 1971.
13. Пауканг К.В. Практикум по общему земледелию. М.: Высшая школа, 1982.
14. Мониторинг загрязнения водоемов по составу макрозообентоса: метод. пособие / М.В. Чертопруд // *Кружок водной экологии: сайт*. Доступ свободный. URL: <http://theos.org.ru/>. Загл. с экрана.

Поступила в редакцию 16 ноября 2010 г.

Bukovskiy M.Ye., Kolomeitseva N.N., Klokov A.Yu., Oleinikov A.A. Estimation of water quality of drains of Tsna river pool using of bioindication methods

The article describes the control questions of water quality of surface drains using bioindication methods. The results of water quality estimation and resistance of mud line to pollutions in Tsna river pool are discussed.

Key words: quality of surface water; bioindication; saprobity; mud line; resistance to pollution.