

## ЗООПЛАНКТОН КАК ИНДИКАТОР АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ГОРОДА НА КАЧЕСТВО РЕЧНЫХ ВОД

© 2015 В.В. Руднев

*аспирант кафедры физической географии и геоэкологии*  
*e-mail: [rudnev-vyacheslav@yandex.ru](mailto:rudnev-vyacheslav@yandex.ru)*

*Курский государственный университет*

Зоопланктон является хорошим индикатором определения качества воды. На реках Курской области было проведено гидробиологическое исследование по методу Пантле и Бука в модификации Сладечека. Целью исследования являлось определение антропогенного влияния городов на качество вод. Установлено, что города с большей численностью населения и развитым уровнем промышленности сильнее оказывают загрязняющее воздействие на состав и качество речных вод, что, в свою очередь, отражается на качественном, количественном составе и индексе сапробности зоопланктона.

**Ключевые слова:** метод Пантле и Бука в модификации Сладечека, зоопланктон, биоиндикация, Сейм, Тускарь, Свапа, Курск, Железногорск, Льгов.

В научной литературе отмечается негативное антропогенное влияние урбанизированных территорий на компоненты природы. Изучение влияния городской инфраструктуры, городских агломераций на атмосферу, подземные и поверхностные воды, почвы, растительный и животный мир наглядно подтверждает, что, несмотря на прогресс науки и техники, на улучшение жизни людей, на развитие современной инфраструктуры города, городских коммуникаций, современную застройку экологическая обстановка по основным природным компонентам ухудшается. Особенно страдают поверхностные воды города – пруды, реки, так как поступающие с поверхностным ливневым стоком химические, биогенные элементы с городского водосбора аккумулируются в донных отложениях и изменяют качество воды [Алексеевский 2000]. Усугубляют экологическое состояние водоемов и водотоков промышленные и коммунальные предприятия города, сбрасывая сточные воды в реки даже после их очистки.

Применяемые в настоящее время методы химического, физического и санитарно-микробиологического анализа не могут дать полной оценки антропогенного воздействия города на речные экосистемы, так как эти методы отражают ситуацию непосредственно в период взятия проб. Биологический же метод позволяет обнаружить воздействие на водоем, предшествующее времени анализа. Также невозможно определять все известные и искать неизвестные виды загрязнителей воды, биологические же объекты реагируют на все виды загрязнений независимо от их природы и дают интегральный показатель качества воды как среды обитания [Макрушин 1974]. Поэтому для комплексной оценки экологического состояния водоемов и водотоков, находящихся под воздействием целого комплекса загрязняющих веществ от городских стоков, необходимо использование методов биологического анализа, наиболее полно отражающих качество речных вод. В основе гидробиологического мониторинга лежат исследования с применением биоиндикации с целью наблюдений, оценки состояния водных экосистем в условиях все усиливающегося антропогенного пресса.

Методы биоиндикации более информативны в части определения прямой реакции экосистемы на антропогенное воздействие. Наиболее проработанными биоиндикационными элементами в гидроэкологии по сравнению с другими группами организмов является зоопланктон. В широко применяемой на практике системе определения качества вод зоопланктон является хорошим индикатором условий среды обитания. В научной и методической литературе показано, что зоопланктон используется для изучения загрязнения той части водотока, которая лежит выше створа взятия пробы.

Для оценки степени загрязнения водных объектов по показательным организмам зоопланктонных сообществ существует несколько успешно применяемых во всем мире систем и методов. К ним относятся первая работа Кольвитца и Марсонна, предложенная применительно к условиям средней Европы в начале XX в. [Kolkwitz, Marsson 1908]. Большое число модификаций, усовершенствований и дополнений применяется в методиках Зелинке и Марвана [Zelinka, Marvan 1966], Кнеппа [Knopp 1955, 1968], Пантле и Бука [Pantle, Buck 1955], Сладечека [Сладечек 1967].

В настоящее время зоопланктон широко используется при биоиндикации изменений экологического состояния пресных экосистем [Клинкина 2005; Осипова и соавт. 2013 и др.]. Имеется опыт использования биоиндикаторов для оценки загрязнения водоемов Западной Сибири [Безматерных 2007]. Перечень показателей, рекомендуемый для системы мониторинга на основе сообществ зоопланктона, приведен в работах И.Н. Андрониковой.

Влияние города на качество речных вод рассмотрено на примере средних рек Курской области – Тускарь, Свапа, Сейм – и расположенных на них городов (рис. 1). В качестве критерия оценки степени воздействия городов на водные экосистемы использованы зоопланктонные сообщества.

Цель работы – оценить влияние городов с разной численностью населения и различной промышленностью на качественный и количественный состав зоопланктонного сообщества как индикатора антропогенной нагрузки на речные экосистемы. По нашим предположениям большую антропогенную нагрузку на реку оказывают города с большей численностью населения и развитым уровнем промышленности, а меньшее влияние – города с меньшей численностью населения и меньшим уровнем развития промышленности.

Основу работы составляют данные, собранные и обработанные автором в летний полевой сезон 2014 года. Отбор проб зоопланктона проводился в июле месяце. Среднемесячная температура воздуха составляла +22...+26°C, температура воды варьировала от +20°C до +25°C, то есть пробы отбирались в благоприятное время, когда происходило максимальное развитие планктонных организмов и концентрация химических веществ была близка к репрезентативным для выбранных участков водоёмов уровням.

Пробы зоопланктона отбирались на качественный и количественный анализ. Сбор качественных проб проводился с помощью конической планктонной сети Апштейна (использовался мельничный шёлк №35). Сбор количественных проб проводился методом фильтрации (около 100 литров) воды. Отбор проб осуществлялся в прибрежной зоне – на границе зарослей макрофитов и открытого русла. Собранные пробы концентрировались в специальной посуде с герметичными крышками и фиксировались 97% медицинским спиртом.

В лабораторных условиях для каждого объекта по качественным пробам был определен видовой состав зоопланктонных организмов, а по количественным пробам – соотношение их численности. Количественный учет животных осуществлялся путем подсчета их под бинокулярным микроскопом. В работе использованы определители

Б.М. Мамаевой [Мамаева 1972.], определитель пресноводных беспозвоночных европейской части СССР [Определитель... 1977], унифицированные методы исследования качества вод [Унифицированные методы... 1977].

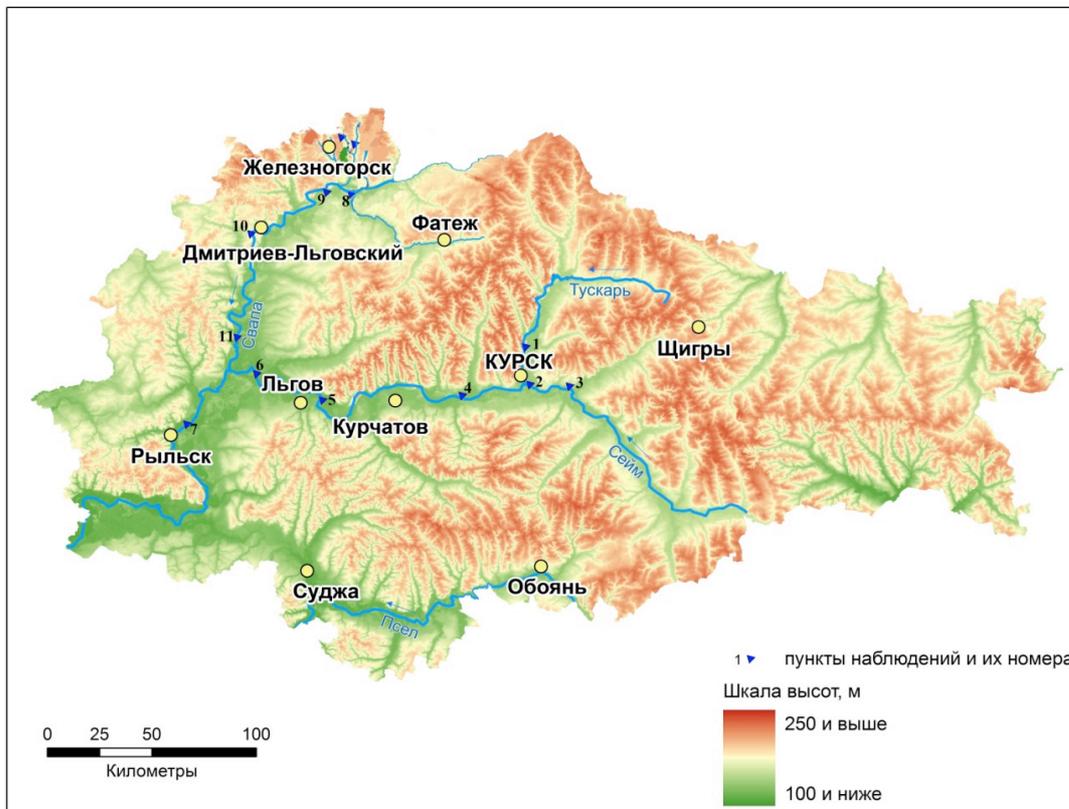


Рис. 1. Пункты мониторинга на реках Курской области

Определение качества воды реки проводился нами по методу Пантле и Бука в модификации Сладечека, который основан на чувствительности многих видов зоопланктонных сообществ к присутствию в воде загрязняющих веществ. В этом методе используется система определения сапробности (способности организмов выдерживать различную степень органического загрязнения воды). Согласно этой системе все водоемы в зависимости от степени их загрязнения органическими веществами подразделяют на олиго-, мезо- и полисапробные.

Представители зоопланктона, способные развиваться в воде с теми или иными концентрациями органических веществ, являются видами-индикаторами, или показателями качества воды. Одни виды существуют только в исключительно чистой воде, другие выдерживают значительные загрязнения. Индикаторные виды подразделены на пять сапробиологических групп: ксеносапробионты (обитающие в очень чистых водах), олигосапробионты (в практически чистых водах), бетамезосапробионты (выдерживающие слабое органическое загрязнение и при этом активно развивающиеся), альфамезосапробионты (выдерживающие значительную степень органического загрязнения), полисапробионты (продолжающие жизнедеятельность в сильнозагрязненных и сточных водах).

Индекс сапробности водоема или его участка – это среднее арифметическое значение индексов сапробности всех организмов, обнаруженных в качественных пробах, которые вычислялись нами по формуле

$$S = \frac{\sum s h}{\sum h},$$

где  $S$  – индекс сапробности пробы;  $s$  – индекс сапробности индикаторного вида;  $h$  – частота встречаемости сапробионта в пробе по шестибалльной шкале Кордэ.

Для определения, в какой сапробиологический класс попадает тот или иной обследованный нами пункт мониторинга водоёма, используется обозначение классов сапробности с одним дополнением (табл. 1). Это дополнение обосновал М.В. Кумани [2003] для условий Центрального Черноземья. Введение дополнительной градации позволяет более детально классифицировать водоёмы с самым характерным для области уровнем загрязнения.

Таблица 1

Принятая классификация водоемов по значениям индексов сапробности (ИС)

Класс качества воды	Качество воды	Индекс сапробности (ИС)	Класс сапробности	Численные обозначения классов сапробности
1	Очень чистые	< 1	Ксеносапробный	0
2	Чистые	1,1–1,5	Олигосапробный	1
3а	Слабо загрязненные	1,5–2,15	Бетамезосапробный	2
3б	Умеренно загрязненные	2,15–2,5	<b>Альфбетамезосапробный</b>	2,5
4	Загрязненные	2,5–3,5	Альфамезосапробный	3
5	Грязные	3,5–4,0	Полисапробный	4
6	Очень грязные	> 4	Гиперсапробный	5

Для реализации поставленных целей было подобрано несколько характерных объектов для исследования. Местоположения исследовательских створов определялось исходя из принципа – выше и ниже по течению относительно городов, для определения влияния города на качество воды в реке.

Город Курск – административный центр Курской области. Курск является большим городом, по принятой классификации городов России, с численностью жителей 428 тыс. чел. [КурскСтат]. В черте города протекают две основные реки – Тускарь и Сейм. Длина Тускари в городе составляет более 10 км. Река шириной 15–20 м, пойма небольшая. Русло Тускари пролегает вдоль центральных улиц города. Рельеф местности таков, что дождевые и талые воды, в том числе и по ливневой канализации, несут токсические и загрязняющие вещества в реку. Кроме того, в реку Тускарь в городской черте впадает ручей р. Кур. В ручей также попадают и стекают в Тускарь ливневочные воды жилых и промышленных территорий города. На территории Курска в прибрежной защитной полосе реки построены жилые дома, коттеджи практически прямо у кромки воды, что также увеличивает антропогенную нагрузку на реку. Река Тускарь впадает в реку Сейм. Место впадения расположено в пределах города.

Нами было исследовано два пункта мониторинга на р. Тускарь. Пункт № 1 (рис. 1) характеризует состояние реки до воздействия города Курска на водоток. Пункт мониторинга № 2 (рис. 1) позволяет оценить антропогенную нагрузку города на экосистему реки Тускарь.

Через г. Курск также протекает р. Сейм, протяженностью в застроенной части города менее 7 км. Строение поймы р. Сейм отличается от строения поймы р. Тускари. Пойма Сейма намного шире, положе, коренные берега не такие крутые как у Тускари. Это связано с тем, что р. Сейм многоводнее, русло шириной более 80 м в черте города. Но все же воздействие города на реку заметно. В Сейм сбрасываются сточные воды с очистных сооружений, после чего на некотором расстоянии на реке прослеживается биогенное загрязнение [Кумани и др. 2009], что подтверждают данные

гидробиологического исследования в пункте мониторинга № 4 (рис. 1). Для сравнения были отобраны гидробиологические пробы до г. Курска в точке исследования № 3, которые характеризуют фоновое состояние реки до воздействия Курского промышленного узла.

Город Льгов ещё один город Курской области, расположенный на реке Сейм. Является административным центром Льговского района Курской области. Численность жителей города составляет 20 тыс. чел. [КурскСтат]. Льгов считается малым городом областного подчинения.

Река Сейм протекает по окраине Льгова. В рельефе местности город расположен на возвышенности, а широкая пойма Сейма находится в низине. В городе отсутствуют очистные сооружения ливневой канализации, имеются небольшие промышленные предприятия, влияющие на экологическую обстановку. Все эти и другие проблемы влияют и прямым образом сказываются на экологическом состоянии р. Сейм.

На расстоянии более 100 км после загрязняющего воздействия г. Курска на р. Сейм действуют процессы биологического самоочищения. Пункт мониторинга № 5 (рис. 1) позволяет оценить, насколько река очистилась от воздействия г. Курска. Также пункт расположен до начала влияния на реку г. Льгова. Пункт мониторинга № 6 характеризует состояние реки после прохождения г. Льгова. Далее на реке отбирались ещё сапробиологические пробы, и данные анализа пункта мониторинга № 7 демонстрируют самоочистительные способности реки.

Город Железногорск – административный центр Железногорского района Курской области. Второй по величине город в области. Численность жителей 97 тыс. чел. [КурскСтат]. По классификации город является средним городом РФ областного подчинения. Сброс с очистных сооружений города, городские неканализованные стоки поступают в р. Речицу, на которой расположен Железногорск. Нами были отобраны пробы на сапробиологический анализ на р. Свапа, в которую впадает р. Речица через р. Чернь.

Пункт мониторинга № 8 характеризует фоновое состояние р. Свапа до воздействия стоков от г. Железногорска. Пункт № 9 (рис. 1) расположен на небольшом расстоянии от впадения в Свапу р. Чернь, и полученные данные позволяют оценить влияние города на речную экосистему. Этот пункт характеризует состояние биоценоза реки после воздействия на неё Железногорского промузла. Также на реке отбирались ещё сапробиологические пробы в точках № 10 и № 11, которые свидетельствуют, что в реке происходит процесс самоочищения. Река Свапа является средней рекой Центрального Черноземья с шириной русла 20–25 м и увеличивающейся водностью к устью.

Индекс сапробности в устье Тускари (т. № 2) (рис. 1) по расчетам, когда берутся во внимание организмы с высоким индикаторным значением, для высокой точности определения равен 2,59. И для сравнения: индекс сапробности в 5 км выше г. Курска (т. № 1), до воздействия Курского промышленного узла на реку, равен 1,91. Видно, что воды реки до города находятся в бетамезосапробном классе, а после прохождения экстремального источника загрязнения воды становятся альфамезосапробного класса, то есть загрязненными. На этом пункте мониторинга (т. № 2) выявлено, что река получила самое экстремальное загрязнение из всего своего течения, пройдя городскую местность. И пункт № 2 – устье Тускари – выявлен как самый загрязненный из всех обследованных водоёмов Курской области, что подтверждается также гидрохимическими исследованиями, которые проводили ученые М.В. Кумани, А.А. Борзенков, Ю.А. Соловьева на урбанизированных территориях Курской области [Кумани и др. 2007]. Группой исследователей было установлено, что устье Тускари экстремально, техногенно загрязнено. Здесь присутствуют химические элементы и

соединения, такие как тяжелые металлы, фенолы, нитраты, превышающие ПДК в несколько раз.

В пункте мониторинга № 3 на р. Сейм (рис. 3) до г. Курска индекс сапробности равен 2,00, воды бетамезосапробного класса, то есть слабо загрязненные. А после прохождения города (т. № 4) индекс сапробности равняется уже 2,30, то есть качество воды изменяется, воды становятся умеренно загрязненными.

Выше г. Льгова в пункте мониторинга № 5 (рис. 1) воды Сейма характеризуются как бетамезосапробные с индексом сапробности, равным 2,04. После загрязняющего воздействия города в следующем пункте мониторинга № 6, расположенном ниже города по течению реки, индекс сапробности уже равен 2,17, то есть воды здесь альфамезосапробного класса. Это еще одно доказательство отрицательного влияния города на реку.

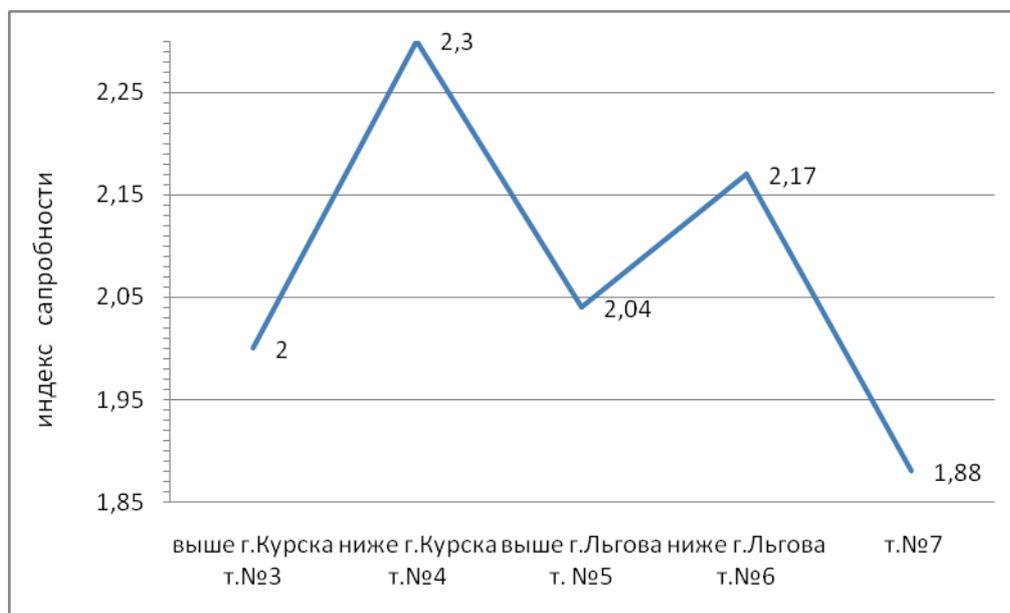


Рис. 2. Изменение индексов сапробности на р. Сейм по пунктам мониторинга

Из графика (рис. 2) видно, что далее вниз по течению в реке действуют процессы биологического самоочищения, благодаря большим расходам воды, широкому и полноводному руслу река в состоянии оказывать существенное влияние на качество воды. И все это приводит к тому, что в следующем пункте мониторинга (т. № 7) отчетливо наблюдается значительное улучшение состояния экосистемы. Здесь индекс сапробности равен 1,88.

В точке отбора проб № 9 (рис. 2) на р. Свапа река испытывает высокую антропогенную нагрузку: впадающая выше по течению р. Чернь и её приток Речица несут загрязненные воды. Здесь индекс сапробности равняется 2,52 – альфамезосапробный класс, то есть вода считается загрязненной. Для сравнения были отобраны пробы воды выше по течению р. Свапа до впадения в нее загрязненных вод. В т. № 8 (рис. 1) индекс сапробности равен 2,12. Разница индексов сапробности ощутима: до влияния города воды Свапы были бетамезосапробного класса, после попадания стоков с города класс вод в реке стал альфамезосапробного уровня.



Рис. 3. Изменение индексов сапробности на р. Свапа по пунктам мониторинга

Далее по реке отбирались ещё сапробиологические пробы, анализ которых показывает, что при удалении от источника загрязнения в реке происходит процесс самоочищения. К устью Свапы, за несколько километров до впадения её в р. Сейм, происходит очищение, индекс сапробности равняется 1,82 – бетамезосапробный уровень. Из графика (рис. 3) видно, что к устью Свапа настолько очищается, что индекс сапробности становится даже меньше, чем был в верховье реки. Этот факт объясняется тем, что к низовью Свапы увеличивается водность реки, и связанное с этим возрастание площади живого сечения, а следовательно, увеличение биомассы водных растений также благоприятно сказываются на процессах самоочищения и улучшения качества воды.

В целом характерный, природный, фоновый уровень сапробности рек для условий Курской области – бетамезосапробный [Руднев 2014]. Но по тем или иным причинам на различных пунктах мониторинга это не так, то есть класс сапробности вод другой. Как правило, класс сапробности изменяется из-за антропогенного влияния. Как и предполагалось, чем выше численность населения и развитей уровень промышленности города, тем сильнее антропогенное воздействие на состав и качество речных вод. И наоборот, чем меньше численность населения и менее развита промышленность, тем менее влияет город на качество воды, что, в свою очередь, отражается на качественном и количественном составе зоопланктона. Это подтверждается нашим исследованием: разность индексов сапробности до г. Курска и после на р. Тускарь равняется 0,68, на р. Сейм – 0,30. Воздействие Железногорского промузла на р. Свапа до и после оценивается с разностью индексов в 0,40. То есть видно, что превышения индексов большие и класс вод изменяется после прохождения городов Курск и Железногорск. И лишь у малого города Льгова разность индексов сапробности равняется 0,13, что говорит о незначительном воздействии города. Хотя индекс сапробности вод после Льгова, также изменяется и переходит в другой класс – альфаметамезосапробный.

Метод, позволяющий оценить качество вод по зоопланктонным сообществам, – метод Пантле и Бука в модификации Сладчека является надежным биоиндикационным методом. Этот метод используется учеными давно, претерпевает модификации для определенных местностей и является перспективным. Наше

исследование показало, что метод Пантле и Бука в модификации Сладечека дает надежные качественные результаты в условиях Курской области.

Отмечается такой факт, что до воздействия городов на речную систему в реке преобладали организмы с высоким индикаторным значением: *Chironomus plumosus*, *Molanna sp*, *Leuctra hippopus*, а после города с низким индикаторным значением: *Ephemere sp*, *Baetis sp*, *Bosmina longirostris*. Полученные результаты свидетельствуют о том, что загрязнение приводит к появлению эврибионтов, то есть организмов, способных существовать в широком диапазоне условий окружающей среды, в то время как до источников загрязнения преобладали стенобионты (организмы узкого диапазона приспособляемости). В загрязненных водах происходит снижение роли ракообразных, сокращение числа доминантов.

Интересная классическая ситуация прослеживается на реках Свапа и Сейм, когда после прохождения источников загрязнения через определенные расстояния индекс сапробности приходит к своему природному, фоновому – бетемезосапробному значению. Это объясняется тем, что на реках действуют процессы биологического самоочищения, из-за увеличения расходов воды, широких, полноводных русел рек, а также из-за увеличения роли высшей водной растительности.

Лишь р. Тускарь не успевает самоочиститься, так как проходит малое расстояние и в зоне источника загрязнения – в черте города – впадает в р. Сейм. Индекс сапробности в устье Тускари альфамезосапробного класса, то есть воды загрязнены.

#### **Библиографический список**

*Алексеевский Н.И.* Сток и эрозия почв на водосборах как факторы экологической обстановки на реках / Н.И. Алексеевский, Н.И. Коронкевич, Р.С. Чалов, С.В. Ясинский // Известия АН. Серия географическая. 2000. № 1. С. 52–63.

*Андронникова И.Н.* Использование структурно-функциональных показателей зоопланктона в системе мониторинга // Гидробиологические исследования морских и пресных вод. Л.: Наука, 1988. С. 47–53.

*Безматерных Д.М.* Зообентос как индикатор экологического состояния водных экосистем Западной Сибири: аналит. обзор / Гос. публич. науч.-техн. б.-ка Сиб. отд-ния Рос. акад. наук, Ин-т вод. и экол. проблем. Новосибирск, 2007. 87с. (Сер. Экология. Вып. 85).

*Клинка Н.М., Куликова Т.П.* Экологические особенности различных видов пресноводного зоопланктона и их толерантность к антропогенному воздействию // Структурно-функциональные особенности биосистем Севера (особи, популяции, сообщества): материалы конф. (Петрозаводск, 26–30 сентября 2005 г.). Ч. 1. Петрозаводск, 2005. С. 159–162.

*Кумани М.В.* Способы регулирования почвенно-эрозионных процессов и гидрологического режима агроландшафтов Центрально-Черноземной зоны: автореф. дис. ... докт. с.-х. наук. Курск, 2003. 49 с.

*Кумани М.В., Борзенков А.А., Соловьева Ю.А.* Баланс растворенных и адсорбированных на взвешенных наносах загрязняющих веществ урбанизированных водоемов // Вестник Воронежского гос. технического университета. 2007. Т. 3. № 2. С. 148–152

*Кумани М.В., Соловьева Ю.А.* Учет сезонной динамики биогенного загрязнения рек для оценки экологических рисков водопользователей // Труды IV Междунар. конф. «Теория и практика экологического страхования». М.: НИЦ «Экопроект», 2009. С. 80–83

*Макрушин А.В.* Возможности и роль биологического анализа в оценке степени загрязнения водоемов // Гидробиол. журн. 1974. Т. 10. № 2. С. 98–104.

*Мамаева Б.М.* Определитель насекомых по личинкам. М.: Просвещение, 1972. 400 с.

*Определитель* пресноводных беспозвоночных европейской части СССР. М.: Гидрометеиздат, 1977. 512 с.

*Осипова О.Ф., Осипов Д.И., Пряхин Е.А.* Современное состояние зоопланктона водоёма в-3 Теченского каскада водоемов // Вестник Челябинского гос. университета. 2013. Вып. №7 (298). С. 195–196.

*Руднев В.В.* Результаты биоиндикационных исследований рек Сейм, Тускарь, Свапа // Материалы международного научного форума «Ломоносов–2014». М., 2014. URL: [lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov\\_2014/2500/2200\\_63105\\_5197f3.pdf](http://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2014/2500/2200_63105_5197f3.pdf) (дата обращения: 29.01.2015).

*Сладечек В.* Общая биологическая схема качества воды // Санитарная и техническая гидробиология: материалы I съезда Всесоюз. Гидробиол. о-ва. М.: Наука, 1967. С. 26–31.

*Унифицированные методы* исследования качества вод. СЭВ. Ч. 3. М., 1977. 228 с.

*Pantle F., Buck H.* Die biologische Uberwachung der Gewasser und die Darstellung der Ergebnisse // Gas- und Wasserfach. 1955. Bd 96. N 18. 604 S.

*Kolkwitz R., Marsson M.* Okologie der pflanzlichen Saprobien // Berichte der Deutsch. Botan. Gesellsch. 1908. Bd 26A. S. 505–519

*Knopp H.* Grundsatzlichen zur Frage biologischer Vorfluteruntersuchungen, erlautern an einem Gutelangsschnittdes Mains // Arch. Hydrobiol. 1955. Bd 22. N 3/4. S. 363–368.

*Knopp H.* Stoffwechselfeldynamische Untersuchungsverfahren fur die biologische Wasseranalyse // Int. Revue Gesamt. Hydrobiol. Hydrogr. 1968. Bd 53(3). S. 409–441.

*Zelinka M., Marvan P.* Bemerkungen zu neuen Methoden der saprobiologischen Wasserbeurteilung // Verhandlung Int. Vereingung de Limnologie. 1966. Bd 16. S. 817–822.

*КурскСтат* [Сайт]. URL: <http://kurskstat.gks.ru> (дата обращения: 18.12.2014).