

УДК 574.64

РАЗРАБОТКА И АПРОБАЦИЯ НОРМАТИВА СОДЕРЖАНИЯ НЕФТИ В ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЯХ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

© 2012 г. Л. В. Михайлова, Е. А. Исаченко-Боме

Федеральное государственное унитарное предприятие “Госрыбцентр”

625023 Тюмень, ул. Одесская, 33

E-mail: g-r-c@mail.ru

Поступила в редакцию 27.07.2011 г.

С помощью модельных экспериментальных исследований с загрязненными нефтью донными отложениями и гидробионтами (бактерии, простейшие, укореняющиеся растения, черви, личинки насекомых, моллюски, ракообразные, бентосоядные рыбы), жизненный цикл которых связан с дном водных объектов, установлены летальные, сублетальные, пороговые концентрации, а также предельно допустимый уровень содержания нефти в донных отложениях в качестве норматива, устанавливаемого по реакциям наиболее чувствительных тест-организмов. Установленный норматив – 0.02 г/кг абсолютно сухих донных отложений – апробирован на реках Обского бассейна и утвержден в качестве регионального для водоемов Ханты-Мансийского автономного округа (Югры).

Ключевые слова: донные отложения, нефть, регламентация, предельно допустимый уровень, апробация норматива, мезокосмы, бактериобентос, макрозообентос.

Характеристика “чистая вода” не дает полного представления о состоянии водного объекта и гидроэкосистемы. Водоем может быть опасно загрязнен, если даже в воде содержание контролируемых загрязняющих веществ (**ЗВ**), в том числе нефти, ниже ПДК.

Как показали экспериментальные исследования, натурные наблюдения и контрольные замеры [2, 16, 18], концентрация нефтепродуктов (**НП**) в воде зависит не от объема попавшей в водоем нефти, а от их растворимости, которая чрезвычайно мала [15, 21]. Поэтому при оценке реального состояния водоема необходимо, прежде всего, контролировать содержание НП в донных отложениях (**ДО**) и обладать информацией о допустимых пределах их содержания [1, 17].

ДО играют важную роль в функционировании водной экосистемы, как одни из основных ее компонентов. ДО – среда обитания бентосных организмов, рыб, нерестающих на дне водоема, и придонной растительности; источник пищи для донных беспозвоночных и бентосоядных рыб; а также среда, депонирующая ЗВ [10, 30]. Загрязненные нефтью ДО водоемов оказывают прямое токсическое воздействие на гидробионты [5, 7, 8, 21, 22, 32], а содержащиеся в нефти углеводороды, накапливаясь в бентосных организмах, передаются по трофическим цепям и аккумулируются в конечном звене – рыбе [18, 21]. Известно [10], что уловы на внутренних водоемах Российской Федерации на 30–80% состоят из рыб-бентофа-

гов, их объекты питания обитают в ДО, содержащих токсические, мутагенные и канцерогенные компоненты нефти. Это создает возрастающую угрозу водным экосистемам и человеку как потребителю воды и рыбы [22], что особенно актуально для Тюменской обл. [16], где на долю нефти приходится >80% общего загрязнения водоемов и рыба занимает существенное место в питании населения.

По [4], предельно-допустимый уровень содержания вещества в ДО (**ПДУ_{ДО}** – аналог ПДК веществ в воде) рассматривается как “экспериментально определенный и утвержденный в установленном порядке норматив, при котором твердая часть ДО и интерстициальная влага не отдают его в придонный слой воды в количестве, превышающем ПДК нормируемого вещества в воде, и не вызывают гибели, нарушения жизнедеятельности и отдаленных последствий на потомство организмов бентоса и рыб-бентофагов, а также порчи товарных качеств промысловых гидробионтов при непосредственном контакте их с загрязненными ДО и через пищевые цепи детрит–бентос–рыба”.

Таким образом, в основу рыбохозяйственных нормативов положен экологический принцип – оценка влияния исследуемых веществ на представителей важнейших звеньев биоценоза и среду их обитания.

Цель данной работы – разработка норматива ПДУ_{ДО}, а также апробация установленного норматива на реках Тюменской обл.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

Разработка норматива ПДУ_{до} нефти

Исследования проводили в лабораторных условиях по полной схеме [4] на представителях разных звеньев водной экосистемы, развитие и размножение которых связано с ДО водоемов: продуцентах (укореняющиеся растения), консументах (простейшие, ракообразные, олигохеты, хирономиды, моллюски, бентосоядные рыбы); редуцентах (бактерии; гидрохимические показатели, характеризующие активность процесса самоочищения, — БПК₅, аммонификация, нитрификация, рН, содержание кислорода). На высших водных растениях, хирономидах, дрозophile, рыбах исследовали мутагенный и тератогенный эффект нефтезагрязненных ДО, его последствие и отдаленное действие на потомство, а также накопление нефтяных углеводородов (НУВ) гидробионтами и передачу их по трофическим цепям.

Норматив ПДУ_{до} сибирской нефти устанавливали для песчано-илистых ДО, преобладающих в реках и озерах Ханты-Мансийского автономного округа (ХМАО). В опытах использовали ДО, отобранные на чистых участках рек и озер, а также стандартизованные (песок—ил, 1 : 1). Содержание НП в исходных ДО колебалось от 0.0026 до 0.028 (среднее 0.017) г/кг и не превышало фоновых значений [24]. Воду для опытов привозили с чистых озер либо использовали дехлорированную, аэрированную, питьевую воду. Нормировали смеси сибирских нефтей, поступающих с месторождений ХМАО по трубопроводу Шаим-Тюмень на нефтеперерабатывающий завод. По плотности (0.846 г/см³) и фракционному составу нефть относится ко второй группе смешанных метано-нафтенно-ароматических нефтей и содержит парафинов 54.3%, нафтенно-ароматических углеводородов 40.2% и асфальтено-смолистых компонентов 5.5%.

Опыты проводили в системе ДО—вода (1 : 9), а не в экстрактах [34, 35], чтобы избежать побочных эффектов и приблизить условия к природным. Для получения серии ДО с дозированным содержанием нефти в исходную порцию ДО вносили 50 мл/кг сырой нефти, тщательно смешивали, затем отмывали водой до полного исчезновения пленки. В высушенной порции ДО определяли остаточное содержание нефти и использовали ее для приготовления серии разведений путем добавления чистых ДО.

Апробация норматива ПДУ_{до} нефти

Апробацию установленного в лаборатории норматива осуществляли в натуральных условиях. Принцип апробации норматива — сравнительная характеристика сообществ зообентоса (видовое

разнообразие, биомасса, численность, структурно-информационные индексы) в следующих природных условиях: на разных участках реки, хронически загрязняемой НП; в мезокосмах с дозированным содержанием НП в ДО (от 0.01 до 10 г/кг) — по скорости и характеру колонизации их организмами макрозообентоса. Критерий безопасности норматива — отсутствие эффекта токсического действия НП в концентрации, соответствующей ПДУ_{до}, на сообщество организмов зообентоса.

В первом варианте исследования проводили на таежной р. Ватинский Еган (приток Оби первого порядка), которая ~40 лет своими 34 притоками собирает загрязненный поверхностный сток с территории крупнейшей в Западной Сибири нефтяных месторождений. Для характеристики экосистемы реки использовали комплексный метод, включающий в себя химический анализ воды и ДО, исследование бактериобентоса и макрозообентоса в верхнем, среднем и нижнем течении реки. Состояние бактериобентоса оценивали по его общей численности и биомассе [37], численности активнодышащих, сапрофитных, углеводородокисляющих [38] и сульфатредуцирующих [36] бактерий; состояние макрозообентоса — по видовому составу, численности, биомассе [13], индексам плотности [6], выровненности, Шеннона—Винера, Вудивисса, Гуднайта—Уитлея [28].

Во втором варианте на чистой р. Балде (приток Оби пятого порядка) моделировали нефтяное загрязнение ДО с помощью мезокосмов (МК) — круглых пластиковых емкостей высотой 4.5 см, площадью 0.037 м². С четырех сторон к ним был прикреплен шпагат длиной, соответствующей глубине водоема в месте проведения работ. Все отрезки шпагата прикреплялись к поплавку, который плавал на поверхности воды. Емкости перед погружением на дно заполняли по 1 кг специально подготовленного песчано-илистого грунта из реки с разным количеством НП (готовили так же, как для лабораторных опытов). Всего размещено на дне реки 60 МК — четыре опытных варианта и контроль (без НП) по 12 повторностей. Среднее содержание НП в МК (за вычетом естественного фона) следующее: МК_I — 0.028 (0.01—0.03), МК_{II} — 0.130 (0.05—0.150), МК_{III} — 0.535 (0.5—1.0), МК_{IV} — 7.950 (5.0—10.0) г/кг и в контроле (фоновое содержание НУВ — МК_к) — 0.012 г/кг.

Проведен контроль степени и характера заселения МК организмами макрозообентоса в динамике. Для оценки видового состава донного сообщества реки параллельно с опытами отбирали фоновые пробы (Ф) выше установленных МК. Экспериментальные МК устанавливали на дно реки, начиная с периода повторного вселения насекомых (хирономиды, ручейники и др.), для исключения ошибки, которая могла быть вызвана наложением сезонной динамики. Одноре-

менно на 10, 29 и 62-е сут опыта изымали 20 МК и три фоновых пробы.

Пробы речного бентоса отбирали с помощью дночерпателя системы Петерсена (площадь захвата 0.05 м²), ДО из МК извлекали полностью. Пробы бентоса просматривали в камеральных условиях в живом состоянии. Фиксацию, взвешивание и пересчет организмов на 1 м² ДО проводили согласно общепринятым методикам [13]. Гидробионтов определяли до вида, рода или семейства в зависимости от сложности определения некоторых групп. Качественную характеристику сообществ макрозообентоса в реках Ватинский Еган, Балда и в МК оценивали с помощью вышеперечисленных структурно-информационных индексов. Постоянно контролировалось содержание НП в воде, ДО рек и МК методом ИК-спектрометрии [23, 24] на анализаторе нефтепродуктов АН-2. Между фактическим содержанием НП в ДО и биологическими показателями зообентоса были рассчитаны коэффициенты корреляции (r) с критерием достоверности. Сравнение всех вариантов (фон, контроль, опыт) по основным параметрам состояния зообентосного сообщества проводили с помощью методов вариационной статистики [9]. Опытные и контрольные варианты сравнивали при помощи индекса отклонения [11]:

$$D = \frac{\sum_{i=1}^K \frac{N_i - n_i}{N_{i \max}}}{K} \times 100,$$

где D – индекс отклонения, N_i и n_i – оценки значимости (численность, биомасса) каждого вида в МК_к и опытных МК соответственно, $N_{i \max}$ – максимальное значение численности (биомассы) организмов каждого вида на одном из двух сопоставляемых МК, K – число видов в МК_к.

Отклонение от K характеризует степень загрязнения ДО и силу влияния на биоценоз, %: 30 – слабое, 31–65 – среднее, >66 – сильное.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Разработка норматива ПДУ_{ДО} нефти

Результаты экспериментальных исследований (табл. 1) показали, что устойчивость и чувствительность разных систематических групп водных организмов и даже разных видов в пределах одного таксономического порядка колеблются при широком диапазоне концентраций НП в ДО [18, 32].

Наиболее устойчивые к нефтяному загрязнению ДО (полетальным концентрациям – $L C_{50}$) – макрофиты, затем олигохеты, сеголетки карпа, хирономиды, моллюски, простейшие, мальки карпа, ракообразные, эмбрионы и личинки осетра. Наиболее чувствительные (по функциональ-

ным показателям) – эмбрионы и личинки осетра, затем ракообразные, моллюски, микроорганизмы, олигохеты, простейшие, мальки карпа, макрофиты и хирономиды. Сочетание свойств наименее устойчивых и наиболее чувствительных характерно только для ранних этапов развития осетровых и для ракообразных.

Следующие показатели токсичности НП – лимитирующие для гидробионтов: плодовитость (ракообразные), частота сердечного ритма, асинхронность развития, морфометрия (эмбрионы и личинки осетра, мальки карпа), численность (простейшие), интенсивность дыхания, морфометрия (моллюски), дыхание, нарушение структуры внутренних органов (сеголетки карпа), метаморфоз (насекомые), репаративная регенерация (черви), пигменты фотосинтеза (макрофиты), темновая ассимиляция CO₂ (микроорганизмы).

При минимальных сублетальных концентрациях (0.025–0.1 г/кг) происходит стимуляция сапрофитных и нефтеокисляющих микроорганизмов, одновременно затормаживается рост амфипод и личинок рыб, нарушаются репаративная регенерация червей и метаморфоз у хирономид, снижается интенсивность дыхания у моллюсков и личинок карпа, изменяется частота сердечного ритма, синхронность развития и гибель части эмбрионов осетра.

При концентрациях 0.12–1.0 г/кг резко возрастает численность нефтеокисляющих микроорганизмов; снижаются доля сапрофитов, плодовитость ракообразных и моллюсков, скорость деления простейших, природо длины и массы ракообразных, хирономид, моллюсков, червей, рыб. Начинается гибель ракообразных, эмбрионов и личинок рыб.

При концентрации ≥ 5.0 г/кг у выживших организмов (ряска, элодея, хирономиды, дрозофилы) увеличивается число хромосомных aberrаций и погибших клеток в корнях растений; происходят резкие нарушения водно-солевого обмена у моллюсков, биохимических, гематологических и гистологических показателей у рыб; увеличивается аномалия развития у эмбрионов и личинок осетра, хирономид и дрозофил.

Следовательно, НП в ДО оказывают токсическое, тератогенное и мутагенное воздействие как на соматические, так и на генеративные ткани рыб, беспозвоночных и растений и обладают эффектом отдаленного действия и последствия, что подтверждается в [5, 18, 22].

Таким образом, для каждого биологического тест-объекта в экспериментальных условиях были установлены летальные (LC_{50}), сублетальные (EC_{50}), пороговые (минимально действующие) и максимально допустимые (МДК) концентрации. ПДУ_{ДО} установлен по минимальным МДК, т. е.

Таблица 1. Токсические эффекты и реакции макрофитов, бентосных организмов и рыб-бентофагов в условиях нефтяного загрязнения ДЮ, экспериментальные исследования (LC_{50} – гибель 50% организмов, EC_{50} – сублетальный эффект действия у 50% организмов, ПК – пороговая концентрация, МДК – максимально допустимая концентрация, ХА – хромосомные aberrации, CO_2 – углекислый газ, выделены концентрации, близкие к ПДУ_{ДЮ})

Тест-объекты, длительность эксперимента, сут	Тест-функции	Параметры токсичности, LC_{50} , EC_{50} , г/кг	ПК, г/кг, лимитирующие показатели	МДК, г/кг
Продуценты				
Макрофиты <i>Elodeacanadensis</i> , 30	Количество и длина корней, основного и боковых побегов, тургор, распад на мутовки, пигменты фотосинтеза, количество мертвых клеток и число ХА в корнях	LC_{50} –53.0 EC_{50} –30.0	0.900 гибель клеток в корнях, пигменты фотосинтеза	0.300
<i>Vallisneriaspiralis</i> , 30	Количество и длина корней, листьев, пигменты фотосинтеза, количество мертвых клеток и число ХА в корнях	LC_{50} –62.5 EC_{50} –5.0	0.300 количество мертвых клеток, ХА, пигменты фотосинтеза	0.200
<i>Lemnaminor</i> , 30	То же	LC_{50} –62.5 EC_{50} –5.0	0.300 число мертвых клеток в корнях, пигменты фотосинтеза	0.200
Консументы				
Простейшие <i>Parameciumcaudatum</i> , 4	Выживаемость, численность, темп деления	LC_{50} –6.0 EC_{50} –0.85	0.300 численность	0.070
Ракообразные <i>Daphniamagna</i> , 30	Выживаемость, плодовитость, линейные размеры	LC_{50} –29.3 EC_{50} –5.0	0.360 плодовитость, линейные размеры	0.080
<i>Hyalellaazteca</i> , 28	Выживаемость, масса тела, линейные размеры, спаривание, плодовитость	LC_{50} –0.23 EC_{50} –0.17	0.100 линейные размеры, плодовитость	0.060
<i>Gmelinoidesfasciatus</i> , 28	Выживаемость, линейные размеры	LC_{50} –1.25 EC_{50} –0.23	0.170 линейные размеры	0.100
Личинки насекомых рода <i>Chironomus</i> <i>Ch.dorsalis</i> , 35	Выживаемость, изменение цвета, метаморфоз	LC_{50} –0.4	0.130 изменение цвета	0.060
<i>Ch. riparius</i> , 28	Выживаемость, линейные размеры, вылет имаго	LC_{50} –13.5 EC_{50} –1.25	0.100 линейные размеры	0.060
<i>Ch.plumosus</i> , 30	Выживаемость, метаморфоз, ХА, пуфинг	LC_{50} –10.0 EC_{50} –0.12	0.026 метаморфоз	0.022
<i>Ch.thummi</i> , 10	ХА, пуфинг, выживаемость	LC_{50} –10.0	2.00 пуфинг, ХА	0.700
Черви (поликультура) <i>Limnodrillusudekemi- anus</i> , <i>Tubifextubifex</i> , <i>Lim- nodrilushoffmeisteri</i> , <i>Aulo- driluslimnobius</i> , 130	Число половозрелых особей, число коконов, общая биомасса и численность, число молодых червей	EC_{50} – 0.21	0.140 биомасса, число коконов	0.040
<i>Limnodrillusudekemi- anus</i> , 130+14	Выживаемость взрослых червей и регенератов, регенерационная способность	LC_{50} –18.0 LC_{50} –0.14 регенератов	0.140 репаративная регенерация	0.100

Таблица 1. Окончание

Тест-объекты, длительность эксперимента, сут	Тест-функции	Параметры токсичности, LC_{50} , EC_{50} , г/кг	ПК, г/кг, лимитирующие показатели	МДК, г/кг
Моллюски				
<i>Planorbarius purpura</i> , 30 —	Выживаемость, масса тела и раковины, ширина и длина раковины, интенсивность дыхания, показатели водно-солевого обмена	LC_{50} —7.8 EC_{50} —0.15	0.150 интенсивность дыхания, морфометрия	0.060
<i>Anisus albus</i> , 30 —	То же	LC_{50} —7.8 EC_{50} —3.8	0.050 дыхание, морфометрия	0.040
Рыбы				
<i>Acipenser baeri</i> , 6–16 —	Выживаемость эмбрионов и личинок, синхронность развития, частота сердечного ритма, масса икринок и предличинок, сроки и процент вылупления личинок, аномалии развития	LC_{50} —0.06 эмбрионы LC_{50} —0.8 предличинки	0.030 частота сердечного ритма, удлинение срока эмбриогенеза, асинхронность и аномалии развития	0.021
<i>Ciprinus carpio</i> , мальки, 40 —	Выживаемость, морфометрия, интенсивность дыхания	LC_{50} —2.0 EC_{50} —0.43	0.320 морфометрия, дыхание	0.040
Сеголетки, 70 —	Выживаемость, морфометрия, индекс внутренних органов, гистология, форменные элементы крови, дыхание	LC_{50} —18.0 EC_{50} —0.14	0.038 интенсивность дыхания, нарушения структуры внутренних органов	0.027
Редуценты				
Микроорганизмы сапрофиты, гетеротрофы, нефтеокисляющие, 2030	Численность, скорость размножения, темновая ассимиляция CO_2	EC_{50} —0.22	0.060 скорость размножения 0.100 численность, темновая ассимиляция CO_2	0.040

по недействующим, а не по пороговым и летальным концентрациям, как считают некоторые авторы, критикующие концепцию ПДК [11]. Нормированное содержание нефти в ДО (0.020 г/кг) не вызывало никаких морфологических и функциональных нарушений, тем более — гибели гидробионтов в условиях эксперимента.

Апробация норматива ПДУ_{ДО}

В процессе апробации ПДУ_{ДО} в полевых условиях пробы ДО, воды, бактериобентоса и макрозообентоса отбирали на станциях в верхнем (станции 1–3), среднем (4–8) и нижнем (9–11) течении р. Ватинский Еган (табл. 2).

В наибольшей степени загрязнены нефтью ДО в среднем течении, где река пересекает давно эксплуатируемые нефтяные месторождения. Максимальные концентрации НП отмечаются в ДО у боновых заграждений в районах старых (станции

5, 6, 8) и свежих (ст. 2) аварийных разливов нефти. Река сильно меандрирует, в связи с этим по мере приближения к устью нефть оседает на дно. Устьевой участок находится довольно далеко от объектов нефтедобычи, поэтому ДО и вода загрязнены здесь в наименьшей степени. Содержание НП в воде в период исследования колебалось от 0.01 до 0.07 мг/л, лишь на ст. 4 оно превышало ПДК_{ДО} в 9 раз, что свидетельствует об отсутствии прямой зависимости концентрации НП в воде от степени загрязнения ДО. Речные ДО постоянно промываются текущей водой, поэтому водорастворимые фракции уносятся потоком, а в ДО остаются тяжелые НУВ, в том числе полициклические ароматические углеводороды (ПАУ) и смолисто-асфальтеновые компоненты, что показано в экспериментах с проточностью [20].

Исследования на реке показали, что наибольшее видовое разнообразие и количественные показатели (численность, биомасса) бактерио- и

Таблица 2. Некоторые физико-химические показатели воды и ДО р. Ватинский Еган в июле 2003 г. (м.р. – месторождение, К – куст скважин, ДНС – дожимная насосная станция, КНС – компрессорная насосная станция)

Номер и название станций отбора проб	Расстояние от устья, км	Вода			ДО		
		рН	O ₂ , мг/л	НП, мг/л	рН	Eh, м В	НП, г/кг
Лор-Еганское м.р.							
1 – 0.5 км выше К.3	297	7.2	15.7	0.06	6.0	110	0.057
2 – К.3	296	7.3	12.5	0.04	6.7	105	20.340
3 – К.887	247	7.2	7.4	0.04	6.4	105	0.137
Самотлорское м.р.							
4 – КНС-14	234	7.2	9.5	0.44	7.6	260	0.133
5 – К.600	212	7.2	9.3	0.05	6.5	40	16.427
6 – К.545	198	6.8	7.5	0.04	6.2	50	69.675
КНС-18	174	7.2	8.9	0.07	6.3	100	4.180
8 – К.445, ДНС-13	133	7.7	8.7	0.05	5.8	100	31.610
3 км от устья							
9 – правый берег	3	7.0	5.5	0.01	6.6	205	0.021
10 – стрежень	3	7.2	5.5	0.01	6.8	220	0.030
11 – левый берег	3	7.2	5.4	0.01	6.0	195	0.032

макрозообентоса отмечались на станциях, где содержание НП в ДО было минимальным (0.021–0.032 г/кг), за исключением нефтеокисляющих микроорганизмов, концентрация которых возрастала до 4.18 г/кг. Численность нефтеокисляющих бактерий была высокой – от 45×10^3 до 14×10^6 кл/мл сырых ДО и в большинстве проб превышала таковую у сапрофитных бактерий. При этом бактериобентос характеризовался низким разнообразием морфологических форм (в основном палочки и кокки). Доминантом был вид-космополит *Rhodococcusery thropolis*, везде встречались жизнеспособные сульфатредукторы, что свидетельствует об их устойчивости к загрязнению и активном участии в многоступенчатом процессе биodeградации НУВ в ДО реки, что подтверждается в [31].

В состав макрозообентоса р. Ватинский Еган в основном входили представители четырех типов: круглые черви, кольчатые черви, моллюски и членистоногие. Всего обнаружено 70 видов и круп-

ных таксонов. Относительно высокое видовое разнообразие (34 вида) обнаружено в устье реки, где содержание НП в ДО было близким к ПДУ (0.021–0.032 мг/кг). Затем следовали станции 3 и 4 (19–22 вида) с содержанием НП 0.133–0.137 г/кг. На остальных станциях с высоким содержанием НП число видов не превышало восьми. В реке отсутствовали чувствительные виды. Из ручейников встречались два наиболее устойчивых вида (*Agrypnia pagetana* Curtis, *Anaboliatoror McLachlan*) на ст. 3; нематоды – на ст. 9; мокрецы на станциях 3 и 4; клещи – на станциях 1, 3, 4; поденки встречались единично. Среди более устойчивых видов лидером были хирономиды. Их максимальное число (10–12 видов) обнаруживалось на наименее загрязненных станциях 3, 4 и 9; на ст. 7 – четыре вида; на сильно загрязненных станциях 6 и 8 – от одного до трех видов (*Ablabesmyia sp. monilis* Linnè, *Dicrotendipes nervosus* Staeger, *Rheotanytarsus sp.*). На станциях 2 и 5 не обнаруживались даже самые выносливые хирономиды. Наибольшее число видов олигохет (семь) отмечено на наиболее чистых

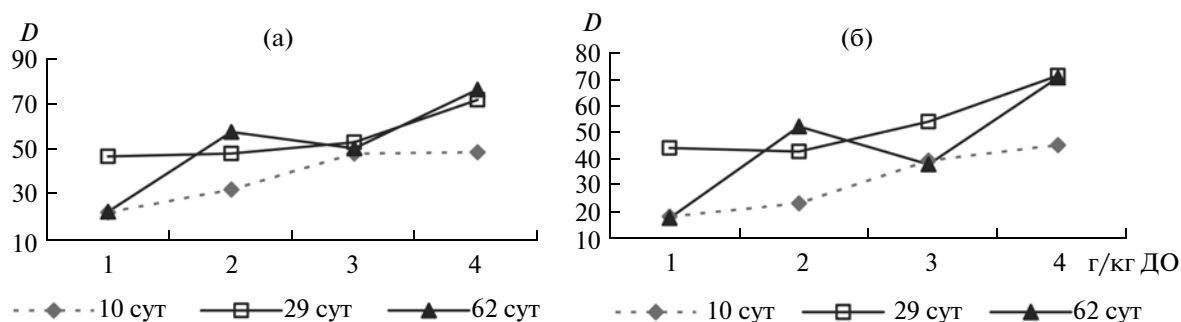


Рис. 1. Изменение индекса отклонения D опытных бентоценозов от контрольных по численности (а) и биомассе (б): 1 – МК_I (0.028 г/кг), 2 – МК_{II} (0.13 г/кг), 3 – МК_{III} (0.54 г/кг), 4 – МК_{IV} (7.95 г/кг).

приустьевых станциях. На остальных станциях число видов колебалось от одного до трех (доминировал *Limnodrilus sudekianus* Claparède). Моллюски преобладали на станциях 9–11 (11 видов), на ст. 3 – 5 видов, на остальных станциях – 1–3 вида (*Anisus stroemi* Westerlund, *Cincinnatiensis* Muller, *Sphaerium corneum*). В районе недавней аварии (ст. 2) гидробиологические пробы – пустые. По мере увеличения содержания НП в ДО снижались количественные показатели, изменялись доминанты, уменьшались индексы Шеннона, Вудивисса, плотности и возрастали индексы Гуднайт-Уитлея и доминирования. Установлена статистически достоверная обратная корреляция между видовым разнообразием и концентрацией НП в ДО.

Таким образом, наиболее благоприятная ситуация на реке отмечалась на участке, где загрязнение ДО по НП соответствовало установленному нормативу.

Р. Балда, где также проводилась апробация ПДУ_{ДО} для нефти, – чистая (класс II по [29]). Макрозообентос реки представлен двадцатью

крупными группами, в том числе – чувствительными к различным загрязнениям поденками и ручейниками. Качественный состав донного сообщества реки относительно разнообразен – 156 видов и крупных таксонов. Видовое разнообразие наиболее богато представлено хирономидами (65 видов), моллюсками (21), олигохетами (14), мокрецами (14) и ручейниками (12). Беднее был видовой состав поденок (четыре), мошек (три), жуков (три вида).

Колонизация МК начиналась с первых дней и протекала быстро. На 10-е сут организмы макрозообентоса во всех опытных МК и МК_к находились в тонком (до 1 см) слое нанесенного в установки детрита, не проникая вглубь. В некоторых повторностях МК_к и МК_I (НП – 0.028 г/кг) наблюдались единичные проникновения личинок хирономид по стенкам. На 29-е сут бентосные организмы в МК_к, МК_I, МК_{II} (0.028 и 0.130 г/кг) отмечались по всей толще экспериментальных грунтов, в МК с большим содержанием НП (0.535 и 7.950 г/кг) животные находились только на поверхности. Проникновение устойчивых гидробионтов (хирономид) в глубь ДО в этих МК отмечено только на 62-е сут. Таким образом, ход и характер колонизации был весьма показательным по отношению к концентрации НП.

При оценке индекса отклонения D опытных МК от МК_к наблюдалось следующее (рис. 1). На 10-е сут бентосные сообщества опытных МК с малым содержанием НП несущественно отклонялись от контроля: величина D по N – 21.4, по B – 17.9%. По мере увеличения концентрации НП возрастал индекс D : по N – 47.9, по B – 44.9%. На 29-е сут степень отклонения плавно возрастала в сторону высоких концентраций: по N – от 46.1 до 71.0, по B – от 17.9 до 44.9%. На 62-е сут при полном прошивании толщи грунтов организмами зообентоса МК_I почти не отличался от контроля (D по N – 21.7, по B – 17.3%), в МК_{II} началась перестройка сообщества и увеличивалась величина D : по N – 56.9, по B – 51.9%. Наиболь-

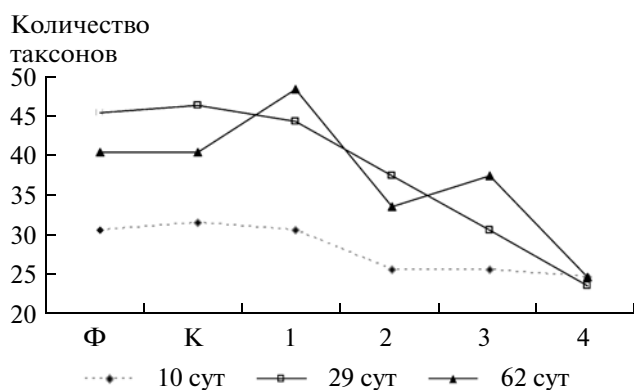


Рис. 2. Изменение общего количества таксонов в фоновых пробах (Ф, 0.012 г/кг), контрольных (МК_к, 0.012 г/кг) и опытных – нефтесодержащих (1 – МК_I, 2 – МК_{II}, 3 – МК_{III}, 4 – МК_{IV}) мезоэкосмах.

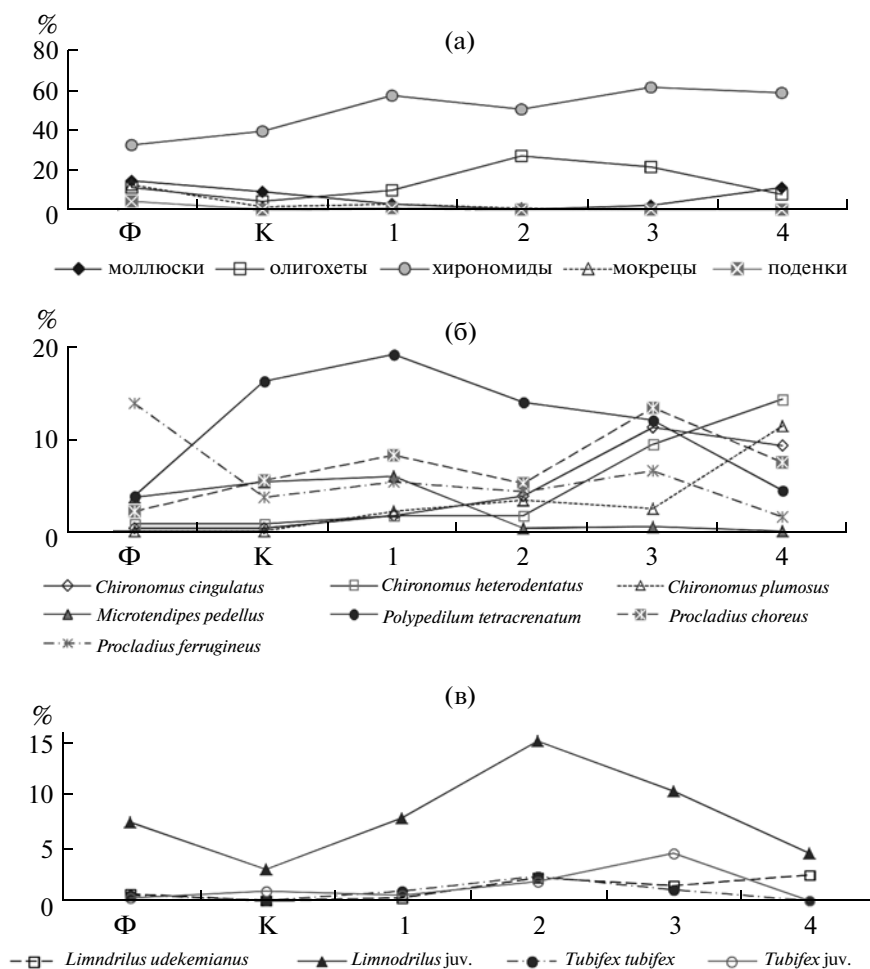


Рис 3. Изменение индекса плотности основных групп макрозообентоса (а), преобладающих видов хируномид (б) и олигохет (в) в Ф, МК_к и МК₁ – МК_{IV} к 62-м сут.

шая степень отклонения от МК_к наблюдалась в МК_{IV}, содержащих от 5 до 10 (среднее 7.95) г/кг НП: по *N* – 75.6, по *B* – 70.4%, что обусловлено угнетением сообщества бентоса. Таким образом, судя по индексу отклонения опытных МК от МК_к, загрязнение ДО и их действие на сообщество макрозообентоса в МК₁ характеризуется как слабое, в МК_{II} – как среднее и в МК_{III} и МК_{IV} – как сильное.

Видовое разнообразие зообентоса изменялось следующим образом (рис. 2): на 10-е сут существенной разницы между вариантами не наблюдалось; на 29-е – наблюдалось плавное снижение показателя начиная с МК_{II}; на 62-е – общее количество таксонов зообентоса в фоновых пробах и МК_к находилось на одном уровне – 41 вид, в МК₁ происходило увеличение видового разнообразия (большей частью за счет хируномид) – 46 видов, в МК_{II} происходило сокращение видового состава

(34 таксона) и перестройка сообщества (снизились видовое разнообразие хируномид до 19, мокрецов до двух, моллюсков до одного вида), в МК_{III} произошло небольшое увеличение числа видов – до 38 за счет устойчивых групп хируномид и олигохет, но в более высоких концентрациях (МК_{IV}) видовое разнообразие резко сократилось.

Таким образом, наиболее значимые изменения были отмечены на 29–62-е сут. Следует отметить, что виды поденок *Ephemeravulga* Linnè и *Heptagenia (Kageronia) fuscogrisea* Retzius встречались только в фоновых пробах, а более устойчивый вид – *Caenishoraria* (Linnè) (β -m-s), кроме фона, был отмечен в МК со средним содержанием НП 0.028 и 0.130 г/кг. Хищные ручейники *Cyrtusflavidus* McLachlan найдены во всех фоновых пробах и МК, в некоторых опытных МК этот вид заменялся другими хищными ручейниками – *Neureclipsisbimaculata* (Linnè) (β -m-s) и *Hydropsycheornatula* McLachlan (β -m-s). Среди пиявок два

вида — *Erpobdella octoculata* (Linnè) и *Hemiclepsis marginata* (O.F. Müller) были найдены только в МК_к, но третий вид — *Helobdella stagnalis* (Linnè) встречался в МК_{II} и МК_{III}. Избегание средних и высоких концентраций НП наблюдалось у двустворчатых моллюсков: *Anodontapiscinalis* Nilsson, *Euglesa* sp., *Musculium terverianum* Dupuy, *Sphaerium nitidum* (Clessin Westerlund). В отличие от них, брюхоногие моллюски менее избирательны и встречались в разных концентрациях на поверхности ДО.

На 62-е сут плотность хирономид была самой высокой среди доминирующих групп (рис. 3а) — до 50.3–61.2% в опытных МК (фон — 32.6, МК_к — 39.5%). Максимальная плотность хирономид отмечена в МК_{III} с концентрацией НП от 0.5 до 1.0 (средняя 0.535) г/кг. Распределение плотности моллюсков по вариантам повторяет картину изменения их численности и биомассы: в фоновых пробах данная группа входит в разряд субдоминантов — 14.18%, в МК_к составляет 9.22%, в МК_I снижается до 3.09%, а в МК_{II} живые моллюски исчезают из проб. ВМК_{III} их плотность несколько возрастает (2.37%), а в МК_{IV} занимают второе место по плотности (11.21%) после хирономид. Избегание средних и высоких концентраций НП на 620-е сут четко выражено у мокрецов и поленок. Относительно высокие показатели плотности по данным группам — в фоновых пробах (мокрецы — 12.41, поленки — 4.51%). В МК с малыми и средними концентрациями плотность данных групп незначительна (мокрецы 0.37–2.82, поленки 0.21–0.85%), а с высокими — обе группы отсутствовали. Кроме этих групп, в МК_{IV} отсутствовали также вислокрылки, а наибольшая их плотность отмечалась в концентрации МК_{II} — 5.82% (МК_к — 1.36%). МК с высоким содержанием НП (МК_{III} и МК_{IV}) избегали жуки, водные клещи, нематоды, пиявки, остракоды, слепни. Плотность этих групп была очень низкой, либо они полностью выпадали из донного сообщества.

Отношение к нефтяному загрязнению разных видов донных организмов одного таксономического порядка было прослежено на примере хирономид (рис. 3б). В фоновых пробах среди хирономид преобладали хищники рода *Procladius* — 15.86% (в том числе *P. (Holotanypus) ferrugineus* Kieffer — 13.79%), в МК_к плотность данного рода снижалась до 9.22% (*P. (Holotanypus) ferrugineus* Kieffer — 3.72, *P. (Holotanypus) choreus* Kieffer — 5.5%), в опытных МК_I — 13.58, МК_{II} — 9.51%. В МК_{III} происходило увеличение плотности хирономид: рода *Procladius* — до 19.84% (*P. (Holotanypus) ferrugineus* Kieffer — 6.5, *P. (Holotanypus) choreus* Kieffer — 13.34%) и рода *Chironomus* — до 23.03%. В самой большой концентрации (МК_{IV}) происходили снижение плотности прокладиусов (8.89%) и

дальнейший рост плотности хирономусов (34.95%). Среди мирных хирономид в МК_к и МК_I выделялись два вида: *Polypedilum (Polypedilum) tetracrenatum* Hirvenoja (16.27–19.19%) и *Microtendipes gr. pedellus* (DeGeer) (5.35–5.95%), а при повышении концентрации НП в ДО происходило резкое сокращение плотности второго (DeGeer) (от 0.3 и 0.48 до 0%) и плавный спад первого от 13.99 и 12.09 в МК_к и МК_I соответственно до 4.34% в МК_{IV}. Пограничный диапазон концентраций НП — 0.05–0.15 г/кг (МК_{II}, где происходила смена доминирующих видов комаров звонцов). Здесь отмечались рост плотности рода *Chironomus* — 8.7% (*Ch. Heterodontatus* Konstantinov — 1.62, *Ch. plumosus* (Linnè) — 3.34, *Ch. Cingulatus* Meigen — 3.74%) и преобладание этих видов в МК с высоким содержанием НП — 23.03–34.95% (*Ch. Heterodontatus* Konstantinov — 9.41–14.3, *Ch. Cingulatus* Meigen — 11.23–9.21, *Ch. plumosus* (Linnè) — 2.39–11.44%) по сравнению с МК_к (0.96%) и фоном (1.05%).

Распределение олигохет имело иную картину (рис. 3в). Пик плотности червей отмечался в МК_{II} (26.86%) по сравнению с фоном (10.92%) и МК_к (3.93%). При увеличении содержания НП их плотность снижалась (МК_{III} — 21.57, МК_{IV} — 8.01%). Такие скачки плотности в средних концентрациях вызваны увеличением когорты молодых особей, причем в МК_{II} (0.05–0.150 г/кг) наблюдался пик размножения олигохет рода *Limnodrilus* (15.17%), а в МК_{III} (0.5–1.0 г/кг) — рода *Tubifex* (4.54%). В МК со средним (МК_{II}) и большим (МК_{III} и МК_{IV}) содержанием НП увеличивалась плотность половозрелых червей вида *Limnodrilus sudekemianus* Clarapède — 2.28, 1.49 и 2.48% соответственно по сравнению с фоном (0.7%) и МК_к (0%). Одновременно в МК_{II} и МК_{III} возрастала плотность *Tubifex tubifex* (O.F. Müller) — 2.4 и 1.13% соответственно. Интерес представляет также отношение половозрелых червей к неполовозрелым, которое показывает, что преобладание ювенильных особей над половозрелыми (7/1) происходит в МК_I с малым содержанием НП (Ф — 3/1). С увеличением концентраций НП значение отношения снижается — 4/1 в МК_{III}, 1.5/1 в МК_{IV}, т.е. при той же плотности взрослых червей плотность ювенильных падает. В МК_к молодые особи олигохет составляют 100%.

Таким образом, среди хирономид наиболее устойчивые к НП — представители родов *Chironomus* и *Procladius*, среди олигохет — родов *Limnodrilus* и *Tubifex*.

Между содержанием НП в МК и биологическими показателями зообентосного сообщества обнаружилась сильная отрицательная корреляция. Наибольшие достоверные значения (*P = –0.05, **P = –0.01) отмечены для следующих показателей: общая численность 0.84**, численность хи-

Таблица 3. Классификация уровней загрязнения ДО пресноводных объектов компонентами нефти по состоянию сообществ зообентоса

Балл	Уровень загрязнения	Содержание НП, г/кг	Характеристика состояния донного сообщества
0	Фоновый	<0.02 ПДУ _{ДО} = 0.020	Не отмечается изменений видового разнообразия и количественных показателей бентосного сообщества
1	Слабый	0.021–0.050	Незначительные изменения количественных показателей бентоса (численность, биомасса). Стимуляция численности и биомассы сапрофитных и нефтеокисляющих микроорганизмов, увеличение видового разнообразия и численности хирономид
2	Умеренный	0.051–0.150	Пороговое состояние: выпадение из сообщества чувствительных видов и перестройка в сторону преобладания наиболее устойчивых видов хирономид, олигохет, пик плотности олигохет р. <i>Limnodrilus</i> . Встречаются наиболее устойчивые виды поденок, ручейников, пиявок
3	Сильный	0.160–0.500	Область нарастающих изменений: снижение видового разнообразия, замена мелких форм хирономид на крупные устойчивые виды рода <i>Chironomus</i> , массовое развитие олигохет рода <i>Limnodrilus</i> . Снижение количественных показателей как отдельных групп, так и зообентоса в целом
4	Экстремальный	0.501–1.0	Резкое обеднение донного сообщества. Пик плотности устойчивых хирономид и олигохет рода <i>Tubifex</i> . Выпадение из сообщества чувствительных видов ручейников, поденок, вислоккрылок, мокрецов, жуков, слепней, нематод, остракод, пиявок, двустворчатых моллюсков. Стимуляция размножения нефтеокисляющих бактерий и снижение численности сапрофитов
5	Критический	>5.0	Нарушение сообщества по всем структурно-функциональным показателям, резкое снижение количественных показателей, доминирование только устойчивых видов хирономид рода <i>Chironomus</i> , снижение численности нефтеокисляющих микроорганизмов

рономид 0.80**, численность (0.60*) и биомасса (0.64*) вислоккрылок, общее количество таксонов 0.79**, количество крупных таксонов 0.80**. Высокая положительная корреляция с загрязнением была отмечена только для индекса выровненности по численности (0.60*), что подтверждает факт обеднения зообентического сообщества в МК с высокими концентрациями НП, где гидробионты попадались чаще всего в единичных экземплярах.

К концу наблюдений (62-е сут) статистически достоверно отличались следующие варианты: Фон – МК_{IV} (по общей численности и общему количеству таксонов), МК_I – МК_{IV} (по общей численности, численности хирономид и общему

количеству таксонов), МК_{III} – МК_{IV} (по общей численности и общему количеству таксонов). Следовательно, определилась градация содержания НП, характеризующая силу влияния нефтяного загрязнения на сообщество макрозообентоса (табл. 3).

Эти градации подтверждаются наблюдениями как в пресноводных, так и в морских водных объектах [3, 8, 14, 21, 25, 27, 33]. В [8] показано, что максимальные значения численности и биомассы олигохет, хирономид и моллюсков отмечены при содержании 0.04 г/кг НП в ДО, при содержании 0.082 г/кг НП происходит уменьшение количественных показателей как отдельных групп, так и зообентоса в целом. Следует согласиться с [8],

что низкие концентрации НП создают оптимальные условия для резистентных гидробионтов в связи с повышением пищевой ценности детрита за счет развития микрофлоры. На это указывают результаты исследований авторов данной статьи на р. Ватинский Еган, где стимулирующее влияние НП на нефтеокисляющие бактерии прослеживалось при его содержании в ДО от 0.06 до 4.18 г/кг.

Исследованиями на малых реках [33], пересекающих территории нефтяных месторождений Удмуртии, установлено следующее: при содержании НП в ДО < 0.05 г/кг загрязнение рассматривается как “слабое” (минимальные нарушения в структуре макрозообентоса); от 0.051 до 0.400 г/кг — “умеренное”; >0.400 г/кг — “экстремальное”, при таком уровне загрязнения наблюдается снижение видового разнообразия, сокращение численности и выпадение из сообщества ручейников, поденок, моллюсков, снижение общей биомассы и увеличение доли личинок хирономид семейства *Prodiamesinae*. Аналогичные данные получены на водоемах Верхневолжского [3] и реках Обского [7, 25, 27] бассейнов.

Из обобщенных результатов экспериментальных и полевых наблюдений [21] следует, что летальное действие НП на морские бентосные организмы проявляется при их содержании в ДО в пределах 1.0–7.0 г/кг, а сублетальные и пороговые эффекты (воспроизводство, нарушение питания, поведения, физиолого-биохимических функций, патологические изменения в органах и тканях, в том числе и канцерогенез) возникают при концентрациях 0.1–1.0 г/кг. Это подтверждают данные для пресноводных бентосных организмов.

Таким образом, выполненные исследования позволили не только оценить характер трансформации экосистем под влиянием хронического нефтяного загрязнения, но и подтвердить правильность подходов, использованных при разработке “Временного методического руководства” [4], и достоверность установленного ПДУ_{до} — 0.02 г/кг [26].

ВЫВОДЫ

По полной схеме токсикологических исследований установлен норматив для сибирской нефти в песчано-илистых отложениях поверхностных водных объектов (ПДУ_{до}) — 0.02 г/кг.

Исследование состояния донных сообществ в хронически загрязняемой нефтью реке и натурное моделирование нефтяного загрязнения ДО (в МК) позволили апробировать этот норматив и обосновать его объективность. Норматив утвержден как региональный для Ханты-Мансийского автономного округа — Югра. Литературные данные подтвердили приемлемость данного норма-

тива для других видов нефти и других водных объектов на территории РФ.

Содержание НП в ДО на уровне норматива не вызывало негативных явлений в сообществах макрозообентоса реки и МК. Фоновые пробы (0.012 г/кг), МК_к и МК₁ (0.02–0.03 г/кг) имели сходную структуру бентосных сообществ, различия между ними не были существенными.

В пороговом диапазоне (0.05–0.15 г/кг) биocenoz начинает перестраиваться в сторону преобладания наиболее устойчивых к нефти видов хирономид, олигохет, моллюсков и некоторых других групп. Среди традиционно чувствительных к загрязнению групп обнаружены виды, выдерживающие уровень загрязнения ДО нефтью до 0.1–1.0 г/кг. Это поденки *Cainishoraria L.*, хищные ручейники *Neureclipsis bimaculata* и *Hydropsyche ornata*, пиявки *Helobdella stagnalis*, моллюски *Anisus stroemi*, *Cincinnatiensis*, *Spherium corneum*.

С повышением концентрации НП в ДО до 0.5–5.0 г/кг наблюдается обеднение зообентического сообщества, замена в доминирующем комплексе мелких форм хирономид на крупные устойчивые виды рода *Chironomus*, массовое развитие устойчивой группы олигохет рода *Limnodrilus*.

В МК и ДО хронически загрязненной реки, содержащих НП > 5 г/кг, наблюдается резкое снижение видового разнообразия, количественных показателей (биомасса, численность), качественных характеристик (структурно-информационные индексы). В пробах встречаются только устойчивые гидробионты.

Авторы выражают благодарность коллегам из ФГУП “Госрыбцентр” (г. Тюмень), ВНИЦ “Экология” (г. Тюмень), Тюменского государственного университета, Института биологии внутренних вод РАН (пос. Борок), Московского государственного университета технологий и управления, участвовавшим в подготовке “Временного методического руководства” и выполнении научных исследований по установлению ПДУ_{до}.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анохина О.К. Экологическое нормирование содержания загрязняющих веществ в донных отложениях Куйбышевского водохранилища. Автореф. дис. ... канд. хим. наук. Казань, 2004. 23 с.
2. Бабушкин А.Г., Московченко Д.В., Пикунов С.В. Гидрохимический мониторинг поверхностных вод Ханты-Мансийского автономного округа — Югры. Новосибирск: Наука, 2007. 152 с.
3. Виноградов Г.А., Березина Н.А., Лантева Н.А., Жариков Г.П. Использование структурных показателей бактерио- и зообентоса для оценки качества донных отложений (на примере водоемов Верхневолжского бассейна) // Вод. ресурсы. 2002. Т. 29. № 3. С. 329–336.

4. Временное методическое руководство по нормированию уровней содержания химических веществ в донных отложениях поверхностных водных объектов (на примере нефти). М.: РЭФИА, НИА-Природа, 2002. 130 с.
5. *Гребенюк Л.П.* Морфологические деформации структур ротового аппарата личинок рода *Chironomus* (Diptera, Chironomidae) как показатели токсического стресса в пресноводных экосистемах // Тез. докл. Всерос. конф. "Современные проблемы водной токсикологии". Борок, 2002. С. 139.
6. *Зенкевич Л.А.* Количественный учет донной фауны Баренцова моря // Биология северных и южных морей СССР. М.: Наука, 1977. С. 104–107.
7. *Исаченко-Боме Е.А., Михайлова Л.В.* Оценка состояния макрозообентоса реки Ватинский Еган, хронически загрязняемой нефтью // Матер. Междунар. конф. "Современное состояние водных биоресурсов". Новосибирск, 2008. С. 292–295.
8. *Кравцова Л.С., Лезинская И.Ф., Кицук Т.И.* Бентофауна на участках нефтегазопроявлений озера Байкал // Гидробиол. журн. 1988. Т. 24. № 5. С. 91–93.
9. *Лакин А.О.* Биометрия. М.: Просвещение, 1980. 213 с.
10. *Лесников Л.Ф.* Закономерности трансформации и транслокации загрязняющих веществ в водоемах и роль грунтов и гидробионтов в этих процессах // Влияние грунтов и гидробионтов на трансформацию загрязняющих веществ в водоемах. Сб. науч. тр. ГосНИОРХ. СПб., 1992. С. 3–17.
11. *Левич А.П., Забурдаева Н.Г., Булгаков Н.Г. и др.* Лабораторные методы определения ПДК следует дополнить методами установления экологически допустимых нормативов вредных воздействий по данным экологического мониторинга // Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы. Матер. III Всерос. конф. по водной токсикологии. Борок, 2008. С. 92–105.
12. *Матковский А.К.* Один из подходов оценки предельно допустимого вредного воздействия (ПДВВ) на водоем // Матер. IV Междунар. симпоз. "Контроль и реабилитация среды". Томск, 2004. С. 145–146.
13. Методические рекомендации по сбору и обработке материалов при гидробиологических исследованиях на пресноводных водоемах // Зообентос и его продукция. Л., 1983. 52 с.
14. *Миловидова Н.Ю., Кирюхина Л.Н.* Влияние нефти и нефтепродуктов на донные осадки и макрозообентос в природных условиях // Проблемы химического загрязнения вод Мирового океана. Л.: Гидрометеиздат, 1985. С.86–124.
15. *Михайлова Л.В.* Особенности поведения водорастворимой фракции нефти (ВРФН) в модельных опытах // Вод. ресурсы. 1986. № 2. С. 125–134.
16. *Михайлова Л.В.* Химическое загрязнение — одна из основных экологических проблем Обь-Иртышского региона // Пути и средства достижения сбалансированного эколого-экономического развития в нефтяных регионах Западной Сибири. Нижневартовск: Уральский рабочий, 1995. С. 43–46.
17. *Михайлова Л.В.* О необходимости регламентации донного загрязнения // Современные средства воспроизводства и использования водных биоресурсов. СПб., 2000. Т. 4. С. 181–183.
18. *Михайлова Л.В.* Экспериментальное моделирование нефтяного загрязнения // Антропогенное влияние на водные организмы и экосистемы. Матер. III Всерос. конф. по водной токсикологии. Борок, 2008. С. 112–126.
19. *Михайлова Л.В., Исаченко-Боме Е.А., Косолапов Д.Б., Рыбина Г.Е.* Трансформация экосистем таежной реки Ватинский Еган, хронически загрязняемой нефтью // Матер. междунар. науч. конф. "Структурно-функциональные особенности биосистем Севера (особи, популяции, сообщества)". Петрозаводск: ПГУ, 2005. С. 26–29.
20. *Михайлова Л.В., Шорохова О.В.* Качественный и количественный состав нефтяного загрязнения воды и донных отложений (экспериментальное исследование) // Матер. всерос. конф. "Менделеевские чтения". Тюмень, 2005. С. 279–284.
21. *Патин С.А.* Экологические проблемы освоения нефтегазовых ресурсов морского шельфа. М.: ВНИРО, 1997. 350 с.
22. *Петухова Г.А.* Механизмы устойчивости организмов к нефтяному загрязнению среды. Тюмень: Изд-во Тюменского гос. ун-та, 2008. 172 с.
23. ПНД Ф 14.01:2.62-96. Методика выполнения измерений массовой концентрации нефтепродуктов в природных и очищенных сточных водах методом колоночной хроматографии со спектрометрическим окончанием. М., 1996. 9 с.
24. ПНД Ф 16.1:2.22-98. Методика выполнения измерений массовой доли нефтепродуктов в почвах и донных отложениях методом ИК-спектрометрии. М., 1998. 17 с.
25. *Попков В.К., Воробьев Д.С., Лукьянцева Л.В., Рузанова А.И.* Бассейн реки Васюган (средняя Обь) как модель пойменно-речной системы для изучения влияния нефтяного загрязнения на водные сообщества // Эколого-биогеохимические исследования в бассейне Оби / Под ред. Зуева В.В. Томск, 2002. С. 220–245.
26. Постановление об утверждении регионального норматива "Предельно допустимый уровень содержания нефти и нефтепродуктов в донных отложениях поверхностных водных объектов на территории Ханты-Мансийского автономного округа Югры". № 441-п. Ханты-Мансийск, 2004.
27. *Рузанова А.И., Воробьев Д.С.* Трансформация донных сообществ в условиях нефтяного загрязнения // Экология пойм сибирских рек и Арктики / Под ред. Зуева В.В. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999. С. 71–78.
28. Руководство по методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / Под ред. Абакумова В.А. Л.: Гидрометеиздат, 1983. 240 с.
29. *Савиновская М.В., Исаченко-Боме Е.А.* Зообентос реки Балды // Актуальные вопросы сельского хозяйства. Сб. тр. молодых ученых. Тюмень, 2003. С. 85–89.
30. *Страдомская А.Г., Ляпкина Н.С., Акулова И.В.* Донные отложения как объект контроля загрязненно-

- сти экосистем нефтепродуктами // Гидрохим. матер. 1985. Т. 105. С. 14–19.
31. *Ткебучава Л.Ф.* Сопряженность процессов бактериального окисления углеводородов и сульфатредукции в грунтах пресноводного водохранилища. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 2002. 16 с.
32. *Томилина И.И., Михайлова Л.В., Рыбина Г.Е., Акатьева Т.Г.* Влияние загрязненных нефтепродуктами донных отложений на планктонные и бентосные ракообразные // Токсикологический вестн. 2009. № 2. С. 28–32.
33. *Холмогорова Н.В.* Динамика структуры макрозообентоса нефтяного загрязнения донных отложений малых рек Удмуртии // Вестник СамГУ. 2007. № 9/1(59). С. 336–343.
34. *Щербань Э.П., Арсан О.М., Шаповал Т.Н. и др.* Методика получения водных вытяжек из донных отложений для их биотестирования // Гидробиол. журн. 1994. Т. 30. № 4. С. 100–108.
35. American Society for Testing and Materials: Standard guide for collection, storage, characterization and manipulation of sediments for toxicological testing. ASTM E 1391-94. Philadelphia: ASTM, 1994. 117 p.
36. *Postgate J.R.* The sulfate-reducing bacteria. Cambridge: Cambridge University Press, 1984. 208 p.
37. *Raymond L., Kerner J.R., Pratt J.R.* Use of fluorochromes for direct enumeration of total bacteria in environmental samples: past and present // Microbiol. Rev. 1994. V. 58. № 4. P. 603–615.
38. *Ward D.M., Brock T.D.* Environmental factors influencing the rate of hydrocarbon oxidation in temperate lakes // Appl. Environ. Microbiol. 1994. V. 60. № 8. P. 2869–2875.