

ГИДРОХИМИЯ, ГИДРОБИОЛОГИЯ,
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

УДК 574.52:574.623:574.633:504.5:665.61(282.256.149)

**ЗООПЛАНКТОН ТАЕЖНОЙ РЕКИ В УСЛОВИЯХ
ХРОНИЧЕСКОГО НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ^{1, 2}**

© 2020 г. Н. И. Ермолаева*

*Институт водных и экологических проблем СО РАН, Новосибирский филиал,
Новосибирск, 630090 Россия*

**e-mail: hope413@mail.ru*

Поступила в редакцию 15.03.2018 г.

После доработки 05.04.2019 г.

Принята к публикации 11.04.2019 г.

Изучено видовое разнообразие и количественные показатели зоопланктона р. Ватинский Ёган в среднем и нижнем течении. Река подвергается значительному нефтяному загрязнению. Показано, что зоопланктонное сообщество реки имеет достаточно устойчивую видовую структуру на участках с различной степенью нефтяного загрязнения. Зоопланктон в таежных реках, протекающих по заболоченным территориям, — ненадежный показатель степени загрязнения нефтью и нефтепродуктами, поскольку имеет высокий потенциал восстановления за счет микроводоемов, расположенных на водосборе. Для биоиндикации нефтяного загрязнения с помощью зоопланктона наиболее показательны соотношение видов внутри каждой группы и расчетные индексы Шеннона и Пантле и Букк, учитывающие степень представленности каждого вида в сообществе.

Ключевые слова: нефтяное загрязнение, зоопланктон, Ватинский Ёган, биоиндикация, сапробность.

DOI: 10.31857/S0321059620010174

ВВЕДЕНИЕ

Одно из направлений реализации Водной стратегии Российской Федерации — развитие системы государственного мониторинга водных объектов, которая включает в себя наблюдения за уровнем загрязнения вод и донных отложений по физическим, химическим и гидробиологическим показателям. Чтобы обосновать систему критериев интегральной оценки качества вод, необходима разработка программ комплексного мониторинга, в том числе и с использованием компонентов биоты, для каждого типа водных объектов с учетом региональных особенностей. Для рек, дренирующих огромные территории Западной Сибири, на которых находятся нефтегазодобывающие объекты, система гидробиологического мониторинга не разработана. Имеется ряд работ, посвященных биоиндикации водотоков по бентосу и перифитону [1, 2, 7, 12, 13], проводится разработка методов биотестирования грунтов [15, 20], а зоопланктон как возможный компонент эколо-

гического мониторинга практически не исследован.

Загрязнение рек и озер на территории Западно-сибирских нефтегазовых месторождений связано с нарушением технологического режима добычи, подготовки и транспортировки нефти и имеет хронический характер. Под влиянием нефтяного загрязнения происходят существенные изменения в структуре водных биоценозов. Класс опасности сырой нефти и нефтепродуктов в международной классификации определен как невысокий [21], и экологическим бедствием считается превышение рыбохозяйственной ПДК в воде в 15 раз и выше. На исследованных водных объектах Нижневартовского района, в том числе на отдельных участках р. Ватинский Ёган, концентрации нефти в воде превышают 20 ПДК. ПДК для нефти и нефтепродуктов (за исключением бензина) в почвах и донных отложениях не утверждены, что позволяет разрабатывать региональные нормативы. Однако, в соответствии с законами РФ, региональные нормы могут быть только жестче федеральных, в которых указано, что содержание нефтепродуктов в почвах <1.0 г/кг допустимо, 1.0–2.0 г/кг — низкий, 2.0–3.0 г/кг — средний, 3.0–5.0 г/кг — высокий, >5.0 г/кг — очень высокий уровень загрязнения [10, 16].

¹ Работы были проведены в рамках обследования водных объектов на территории ОАО «Самотлорнефтегаз» (договор № СНГ–1147/07 от 11.09.2007).

² Работа выполнена в рамках государственного задания ИВЭП СО РАН.

Исследования влияния сырой нефти и нефтепродуктов на пресноводный зоопланктон единичны, поскольку они трудоемки и, как правило, дают трудно сопоставимые результаты [23, 25, 31]. Это объясняется пластичностью и мобильностью планктонного сообщества, которое обусловлено трехмерностью среды обитания, пятнистостью распределения, быстрыми и значительными суточными и сезонными вариациями численности и видового состава, вертикальными и горизонтальными миграциями и прочими факторами [23]. Большая часть работ посвящена изучению морских планктонных сообществ. Однако реакции пресноводного и морского зоопланктона на нефтяное загрязнение могут значительно различаться [2, 17, 22, 31]. Кроме того, речные экосистемы предъявляют свои требования (в отличие от озерных) при оценке распространения и степени воздействия загрязнений [9, 28, 29].

Река Ватинский Ёган течет среди заболоченной тайги по территории длительно разрабатываемых нефтегазовых месторождений Среднего Приобья: Самотлорское, Ватинское, Северо-Покурское, Лор-Ёганское, Мыхпайское. Загрязнение реки нефтью происходит при ее утечках из скважин, расположенных непосредственно на берегах реки, из аварийных резервуаров, при транспортировке и т.д. [12, 13]. На различных участках р. Ватинский Ёган проводились многолетние исследования зообентоса, которые привели к неоднозначным выводам о степени загрязнения водотока [1, 13, 15, 20]. Зоопланктон реки ранее не исследовался, либо имеющиеся данные ведомственные и закрыты для опубликования.

Задачи настоящего исследования следующие: изучение зоопланктона р. Ватинский Ёган в среднем и нижнем течении на участках с различной степенью нефтяного загрязнения; оценка экологического состояния реки по зоопланктону как на отдельных участках, так и на уровне речной системы в целом; оценка возможности применения зоопланктона в качестве биоиндикатора хронического нефтяного загрязнения рек на территории активно разрабатываемых нефтегазовых месторождений в таежной зоне Западной Сибири.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ватинский Ёган — река в центральной части Западно-Сибирской равнины, правый приток Оби (рис. 1). Длина реки — 593 км, площадь бассейна — 3190 км². Исток находится на южном склоне Аганского Увала.

С 24.09.2007 по 26.09.2007 проводилось комплексное обследование среднего и нижнего тече-

ния р. Ватинский Ёган с целью оценки состояния экосистемы реки и потенциала биологического самоочищения водотоков в районах активной нефтедобычи, также исследовался зоопланктон.

На реке было выбрано 8 пунктов отбора проб (створов), расположенных равномерно по руслу. Расположение точек отбора проб определяли исходя из морфологических особенностей русла реки, а также расположения производственных объектов — потенциально опасных загрязнителей и локализации уже существующих загрязнений воды и прибрежной полосы. Створы, расположенные выше 200 км от устья реки, условно отнесены к среднему течению реки, расположенные ниже — к нижнему течению, поскольку нет явных гидрологических различий между участками равнинной реки, протекающей среди торфяников, сильно меандрирующей, с равномерно низким (0.1 м/км) уклоном русла.

Пробы зоопланктона отбирали путем процеживания 100 л воды через сеть Апштейна с размером ячеи 30 мкм. Всего отобрано 24 пробы (правый берег, середина и левый берег на восьми створах). Зоопланктон фиксировали 4%-м формалином. Камеральную обработку проводили по стандартной методике [19]. Биомассу рассчитывали путем умножения индивидуальной массы организмов каждого вида на его численность [5]. Расчет индекса Шеннона (H) — оценки разнообразия сообщества — проводили с учетом показателей как численности, так и биомассы, поскольку данная версия расчета «гармонично сочетает оба фактора обилия» [18]. Для оценки экологического состояния водотока использовали индекс сапробности Пантле и Букк (S) [30]. При расчете использованы значения региональных индексов индикаторной значимости, полученные для зоопланктонных организмов водоемов Западной Сибири, степень эврибионтности и стенобионтности зоопланктонных организмов оценивалась по их индикаторному весу [24].

Одновременно с пробами зоопланктона в тех же точках проводили отбор проб воды и грунта на химический анализ в аккредитованной лаборатории Экологического аналитического центра Дочернего ЗАО «НижневартовскНИПИнефть» (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.510587, действителен до 19.05.2009). Нефтепродукты в воде и в донных отложениях определяли методом инфракрасной спектроскопии.

Статистическая обработка данных по распределению зоопланктона заключалась в проведении дисперсионного анализа однофакторных комплексов с использованием пакета программ



Рис. 1. Картограмма территории отбора проб зоопланктона на р. Ватинский Еган. 1–8 – номера точек отбора.

Численность (*N*), биомасса (*B*), индекс Пантле и Букк (*S*) и индекс Шеннона (*H*) для сообществ зоопланктона и уровни содержания нефтепродуктов в воде и грунте на различных участках р. Ватинский Ёган

| № точки на схеме | <i>N</i> _{общ.} , экз/м ³ | <i>B</i> _{общ.} , мг/м ³ | Rotifera | | Cladocera | | Copepoda (Cyclopoida) | | <i>S</i> | <i>H</i> | Содержание нефтепродуктов | Содержание нефтепродуктов в донных отложениях, мг/кг |
|------------------|---|--|----------|-----------|------------|--------------|-----------------------|--------------|-------------|-------------|---------------------------|--|
| | | | <i>N</i> | <i>B</i> | <i>N</i> | <i>B</i> | <i>N</i> | <i>B</i> | | | | |
| 1 | 6900 ± 420 | 610.4 ± 38.3 | 500 ± 34 | 0.9 ± 0.1 | 3240 ± 186 | 436.1 ± 25.9 | 3160 ± 200 | 173.4 ± 12.3 | 1.64 ± 0.05 | 2.58 ± 0.01 | 0.10 | 76 400 |
| 2 | 2480 ± 210 | 72.0 ± 6.1 | 420 ± 40 | 0.8 ± 0.1 | 1360 ± 110 | 42.5 ± 3.4 | 700 ± 60 | 28.7 ± 2.6 | 1.67 ± 0.03 | 2.57 ± 0.11 | 0.13 | 5000 |
| 3 | 3160 ± 290 | 154.6 ± 14.2 | 300 ± 39 | 0.9 ± 0.1 | 1640 ± 150 | 107.4 ± 10.1 | 1220 ± 101 | 46.2 ± 3.9 | 1.61 ± 0.03 | 2.51 ± 0.06 | 0.28 | 4620 |
| 4 | 920 ± 140 | 28.8 ± 4.4 | 200 ± 33 | 0.7 ± 0.1 | 460 ± 69 | 18.9 ± 2.8 | 260 ± 38 | 9.1 ± 1.5 | 1.64 ± 0.09 | 2.32 ± 0.02 | 0.07 | 570 |
| 5 | 740 ± 220 | 33.3 ± 9.9 | 200 ± 59 | 0.8 ± 0.2 | 360 ± 86 | 25.1 ± 6.1 | 180 ± 75 | 7.3 ± 3.7 | 1.68 ± 0.11 | 2.65 ± 0.08 | 0.15 | 554 |
| 6 | 700 ± 190 | 17.9 ± 4.9 | 200 ± 73 | 0.4 ± 0.1 | 240 ± 67 | 9.6 ± 2.7 | 260 ± 50 | 7.9 ± 2.1 | 1.68 ± 0.05 | 2.63 ± 0.06 | 0.06 | 8040 |
| 7 | 560 ± 90 | 26.8 ± 4.3 | 160 ± 29 | 0.3 ± 0.1 | 160 ± 23 | 16.5 ± 2.9 | 220 ± 35 | 9.6 ± 1.3 | 1.55 ± 0.03 | 2.40 ± 0.09 | 0.06 | 3200 |
| 8 | 420 ± 60 | 14.9 ± 1.8 | 20 ± 4 | 0.1 ± 0.0 | 200 ± 24 | 5.3 ± 0.6 | 200 ± 32 | 9.6 ± 1.2 | 1.61 ± 0.06 | 1.65 ± 0.16 | 0.08 | 640 |

STATGRAPHICS Plus 5.0. Численность и биомасса нормированы по градациям в процентах от максимальных для всего массива данных показателей. В качестве фактора рассматривали концентрацию нефтепродуктов в воде либо в донных отложениях. Показатели концентрации нефтепродуктов в воде разбили на 4 градации: < 1, 1–2, 2–3, 3–6 ПДК. Показатели нефтепродуктов в грунте также рассматривали по четырем градациям: < 1, 1–3, 3–5, > 5 г/кг грунта. При оценке влияния концентрации нефтепродуктов на видовой состав для увеличения достоверности полученных результатов в расчет принимали не разрез в целом, а отдельные точки наблюдения (24 наблюдения) в связи с высокой пятнистостью распределения тяжелых фракций нефти. В качестве исследованных переменных принимали численность группы или каждого вида, нормализованную по процентному вкладу в общую численность. В качестве повторностей использовали встречаемость вида в точках с определенными концентрациями нефтепродуктов в воде или в грунте с учетом вышеуказанных градаций.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На момент обследования содержание нефтепродуктов в грунтах на разных участках реки колебалось от 0.5 до 8.0 г/кг грунта (от допустимых до очень высоких уровней загрязнения), а в воде – от 0.02 до 0.28 мг/дм³, т.е. до 5.6 ПДК. Температура воды колебалась от 5.1 до 6.5°C. Глубина всех обследованных участков – от 1.2 до 1.9 м, за исключением ст. 8, где глубина составила 0.5 м. Средняя скорость течения составила 0.1 м/с, прозрачность воды 0.85 м, pH варьировала в пределах 6.4–7.2.

Осенний сезон в условиях Западной Сибири характеризуется повышением расходов воды и понижением температуры в реках, что, как правило, вызывает обеднение видового состава и количественного обилия зоопланктона по сравнению с июлем–августом. В зоопланктонном сообществе, как правило, отмечается преобладание ракообразных и снижение численности коловраток. Однако в 2007 г. среднесуточная температура воздуха в сентябре на территории Ханты-Мансийского АО была всего на 3–4°C ниже, чем в августе, и дождевого паводка не наблюдалось [26]. Температура воды в период наблюдения была >5°C. Таким образом, можно предположить, что количественные показатели зоопланктона в

р. Ватинский Ёган в сентябре были незначительно ниже по сравнению с таковыми в августе, что подтверждается при сравнении полученных данных с количественными и качественными показателями зоопланктона в левобережных притоках Нижней Оби, которые изучались в летние месяцы в различные годы [6].

Всего в зоопланктоне р. Ватинский Ёган обнаружено 50 видов и подвидов, среди которых 17 – коловраток, 20 – ветвистоусых и 13 – веслоногих ракообразных. Основу численности и биомассы, как правило, обеспечивали ветвистоусые рачки (таблица). В пробе обнаружилось 7–22 вида. Большинство из обнаруженных видов широко распространены в Палеарктике, главным образом это эврибионтные виды, характерные для умеренного пояса. Только среди Cladocera присутствовал арктический вид *Daphnia cristata* Sars.

Станция 1 (ст. 1) (230 км от устья) – грунт глинистый со следами нефтяного загрязнения. Содержание нефтепродуктов в донных отложениях >5.0 г/кг грунта (очень высокое), в воде – 1.6 ПДК. Численность зоопланктона составила 6.9 тыс. экз/м³, биомасса 610.4 мг/м³. На данном участке обнаружено 5 видов *Copepoda*, 13 видов *Cladocera* и 4 вида *Rotifera*. Доминировали эврибионтные виды: среди веслоногих *Paracyclops fimbriatus* (Fischer), *Macrocyclus albidus* (Jurine), *Eucyclops serrulatus* (Fischer), среди ветвистоусых *Pseudochydorus globosus* (Baird).

Станция 2 (ст. 2) (220 км от устья) – донные отложения представлены илами с концентрацией нефтепродуктов 3.0–5.0 г/кг – высокий уровень загрязнения. Загрязнение воды нефтью на данном участке – ниже ПДК, и по этому показателю он самый чистый в выборке. Численность зоопланктона составила 2.4 тыс. экз/м³, биомасса 72.0 мг/м³. На данном участке обнаружено 4 вида *Copepoda*, 13 видов *Cladocera* и 5 видов *Rotifera*. Доминировали эврибионтные виды: среди веслоногих *Paracyclops fimbriatus* (Fischer), среди ветвистоусых *Pseudochydorus globosus* (Baird), *Chydorus sphaericus* (O.F. Müller) и *Bosmina* (*Eubosmina*) *coregoni* Baird, из коловраток *Euchlanis dilatata* Ehrenberg.

Станция 3 (ст. 3) (216 км от устья) – грунт глинистый с концентрацией нефтепродуктов >5.0 г/кг грунта (очень высокое загрязнение). В воде нефтепродуктов – 1.6 ПДК. Численность зоопланктона составила 3160 экз/м³ и 154.6 мг/м³. Обнаружено 2 вида *Copepoda* (один из них придонный), 11 – *Cladocera*, 7 – *Rotifera*. Доминировали эврибионты *Mesocyclops leuckarti* (Claus), *Chydorus sphaericus* (O.F. Müller) и *P. globosus*. Среди кладоцер были отмечены фитофилы (*Simocephalus vetulus* (O.F. Müller), *Pleuroxus aduncus* (Jurine)) и детритофаги (*Scapholeberis mucronata* (O.F. Müller)).

Станция 4 (ст. 4) (208 км от устья) – на дне серый ил с видимыми следами асфальтенов, с концентрацией нефтепродуктов >4.0 г/кг грунта. В воде содержание нефтепродуктов – 5.6 ПДК. Численность зоопланктона составила 920 экз/м³ и 28.8 мг/м³. В составе зоопланктона 2 вида *Copepoda* (один из них придонный), 6 видов *Cladocera*, 6 видов *Rotifera*. Доминировал эврибионт *Bosmina longirostris* (O.F. Müller). Среди кладоцер отмечены фитофилы (*P. aduncus*) и детритофаги (*S. mucronata*).

Станция 5 (ст. 5) (204 км от устья) – грунт илистый с детритом. Содержание нефтепродуктов в грунте 2.0–3.0 г/кг (средний уровень загрязнения), в воде – 0.4 ПДК. Численность и биомасса зоопланктона составила 740 экз/м³ и 33.3 мг/м³. Обнаружено 2 вида *Copepoda* (один из них придонный), 9 видов *Cladocera*, 6 видов *Rotifera*. Доминировала *E. coregoni*. Среди кладоцер был отмечен ряд фитофилов: *S. vetulus*, *P. aduncus*.

Станция 6 (ст. 6) (200 км от устья) – грунт илистый. Содержание нефтепродуктов в грунте составило >8.0 г/кг грунта – самая высокая концентрация для всего обследованного русла. При этом концентрация нефтепродуктов в воде – лишь 1.2 ПДК. Численность зоопланктона составила 700 экз/м³ и 17.9 мг/м³. Обнаружен 1 вид *Copepoda*, 7 видов *Cladocera*, 8 видов *Rotifera*. Доминировали эврибионты *Ch. sphaericus* и *B. longirostris*. Индекс сапробности Пантле и Букк составил 1.68 – максимальный из рассчитанных – участок β-мезосапробный.

Станция 7 (ст. 7) (189 км от устья) – на дне заиленный песок без видимых следов нефти, содержание нефтепродуктов в грунте <1.0 г/кг грунта. Содержание нефтепродуктов в воде – 3 ПДК. Количественные показатели зоопланктона составили 560 экз/м³ и 26.8 мг/м³. Видовое разнообразие зоопланктона достаточно высокое: обнаружено 3 вида *Copepoda*, 4 вида *Cladocera* и 6 видов *Rotifera*. Доминировали *E. coregoni* и *Cyclops scutifer* Sars.

Станция 8 (ст. 8) (185 км от устья) – грунт – заиленный песок без видимых следов нефтяного загрязнения, содержание нефтепродуктов составило <1.0 г/кг грунта. В воде содержание нефтепродуктов – 1.4 ПДК. Численность и биомасса зоопланктона составляли 420 экз/м³ и 14.9 мг/м³ соответственно. Среди ветвистоусых доминировала *Eubosmina coregoni*, среди веслоногих – *Mesocyclops oithonoides* (Sars) и *Cyclops vicinus* Uljanin. Коловратки были представлены всего одним видом – *Pompholyx sulcata* Hudson. В пробах отмечен придонный фито-детритофаг *Tretosephala ambigua* (Lilljeborg).

Индекс *S* на всех обследованных участках не превышал 1.68 (таблица). Таким образом, р. Ватинский Ёган в среднем и нижнем течении на мо-

мент обследования характеризовалась по зоопланктонным пробам как β -мезосапробный водоток. По классификации О.П. Оксийук с соавторами [14], вода реки относилась к 3-му классу (удовлетворительной чистоты) к разряду 3"а" – достаточно чистой. Класс качества воды, согласно РД 52.24.309-2011 Росгидромета от 02.11.2011, соответствует степени "слабо загрязненная". Индекс H колебался на разных участках от 1.65 до 2.65 бит, по большей части превышая 2.00 бит, что позволило классифицировать водоток как выровненный по видовому составу и, следовательно, достаточно стабильный биоценоз.

Ни ширина, ни глубина, ни скорость течения реки практически не различаются по всему исследованному участку русла Ватинский Ёган. Тем не менее дисперсионный анализ показал наличие достоверных различий в общей численности зоопланктона между створами: показатель степени влияния организованного фактора (расположения створов) $\eta_x^2 = 65.3 \pm 5.3\%$, критерий Фишера $F = 6.55 > F_{st}$ при степенях свободы $\nu_1 = 7, \nu_2 = 4$ ($F_{st} = 2.76$), $p < 0.05$. Аналогичные данные получены и при дисперсионном анализе численности отдельных групп зоопланктона. Вниз по течению снижаются показатели численности Rotifera ($\eta_x^2 = 48.7 \pm 6.9\%$, $F = 6.13 > F_{st}$, $\nu_1 = 7, \nu_2 = 4, p < 0.05$), Cladocera ($\eta_x^2 = 67.7 \pm 3.4\%$, $F = 6.12 > F_{st}$, $\nu_1 = 7, \nu_2 = 4, p < 0.05$), Соперода ($\eta_x^2 = 51.6 \pm 3.1\%$, $F = 6.34 > F_{st}$, $\nu_1 = 7, \nu_2 = 4, p < 0.05$). Для биомассы зоопланктона в целом и его отдельных групп результаты дисперсионного анализа схожи с таковыми для численности.

Невысокие концентрации нефтепродуктов в воде р. Ватинский Ёган (от 0.05 до 0.10 мг/дм³) стимулировали развитие мелких коловраток. Среди Rotifera доминировали *Polyarthra dolichoptera* Idelson и *Testudinella patina* (Hermann). При возрастании концентрации нефтепродуктов в воде >0.10 мг/дм³ их численность снижалась ($\eta_x^2 = 52.5 \pm 7.5\%$, $F = 5.76 > F_{st}$, $\nu_1 = 5, \nu_2 = 11, p < 0.05$) и доминирующая роль переходила к *Asplanchna herricki* Guerne, *Euchlanis dilatata* Ehrenberg и *Keratella quadrata* (Müller) ($\eta_x^2 = 68.5 \pm 7.71\%$, $F = 17.93 > F_{st}$, $\nu_1 = 5, \nu_2 = 13, p < 0.01$). При повышении концентрации нефтепродуктов в воде наблюдается увеличение численности ряда крупных Cladocera: *Pleuroxus aduncus* (Jurine) ($\eta_x^2 = 71.4 \pm 5.8\%$, $F = 29.42 > F_{st}$, $\nu_1 = 4, \nu_2 = 9, p < 0.01$), *Peracantha truncata* (O.F. Müller) ($\eta_x^2 = 68.7 \pm 9.1\%$, $F = 23.07 > F_{st}$, $\nu_1 = 5, \nu_2 = 9, p < 0.01$). При этом снижается численность *Bosmina longirostris* (O.F. Müller) ($\eta_x^2 = 52.5 \pm 7.5\%$, $F = 24.42 > F_{st}$, $\nu_1 = 4, \nu_2 = 9,$

$p < 0.01$), *Eubosmina coregoni* Baird ($\eta_x^2 = 52.5 \pm 7.5\%$, $F = 4.28 > F_{st}$, $\nu_1 = 5, \nu_2 = 9, p < 0.05$),

Chydorus sphaericus (O.F. Müller) ($\eta_x^2 = 52.5 \pm 7.5\%$, $F = 7.31 > F_{st}$, $\nu_1 = 3, \nu_2 = 9, p < 0.05$). Соперода оказались индифферентными к содержанию нефтепродуктов в воде, хотя в лабораторных экспериментах, как правило, отмечается гибель веслоногих при концентрациях >0.10 мг/дм³ [23]. И для всех остальных видов зоопланктона достоверного влияния концентрации нефтепродуктов в воде на их численность и биомассу не обнаружено. Число видов зоопланктона также не зависело от степени

загрязнения воды нефтью ($\eta_x^2 = 1.02 \pm 24.8\%$, $p > 0.05$), как и число видов в каждой группе: Rotifera ($\eta_x^2 = 0.98 \pm 19.2\%$, $p > 0.05$), Cladocera ($\eta_x^2 = 3.11 \pm 15.3\%$, $p > 0.05$) и Соперода ($\eta_x^2 = 1.04 \pm 21.1\%$, $p > 0.05$).

Дисперсионный анализ показал, что численность зоопланктонного сообщества не имеет достоверной зависимости от роста концентрации нефтепродуктов в грунте: $\eta_x^2 = 2.01 \pm 19.8\%$, $p > 0.05$; как и численность Rotifera: $\eta_x^2 = 4.21 \pm 27.5\%$, $p > 0.05$; Cladocera: $\eta_x^2 = 3.50 \pm 19.4\%$, $p > 0.05$; Соперода: $\eta_x^2 = 2.22 \pm 16.8\%$, $p > 0.05$. Для биомассы показатели практически такие же. Число видов зоопланктона ($\eta_x^2 = 49.7 \pm 11.4\%$, $F = 7.11 > F_{st}$, $\nu_1 = 5, \nu_2 = 20, p < 0.05$) достоверно зависело от концентрации нефтепродуктов в грунте за счет увеличения видового разнообразия Cladocera ($\eta_x^2 = 56.9 \pm 6.9\%$, $F = 9.13 > F_{st}$, $\nu_1 = 5, \nu_2 = 20, p < 0.05$). Число видов Rotifera такой зависимости от загрязнения грунта не показало ($\eta_x^2 = 2.50 \pm 17.5\%$, $p > 0.05$), как и число видов Соперода ($\eta_x^2 = 1.1 \pm 18.1\%$, $p > 0.05$).

Величина индекса H снижается при росте концентрации нефти в воде ($\eta_x^2 = 15.03 \pm 8.1\%$, $F = 8.68 > F_{st}$, $\nu_1 = 5, \nu_2 = 20, p < 0.05$) и в грунте ($\eta_x^2 = 22.03 \pm 12.1\%$, $F = 19.47 > F_{st}$, $\nu_1 = 5, \nu_2 = 20, p < 0.05$). Индекс S , напротив, растет при увеличении концентрации нефтепродуктов в воде и в грунте.

Дисперсионный анализ подтвердил статистическую достоверность различий значений индекса по грациям концентрации нефтепродуктов в воде ($\eta_x^2 = 22.05 \pm 14.6\%$, $F = 19.22 > F_{st}$, $\nu_1 = 5, \nu_2 = 20, p < 0.05$) и в грунтах ($\eta_x^2 = 22.03 \pm 12.1\%$, $F = 19.47 > F_{st}$, $\nu_1 = 5, \nu_2 = 20, p < 0.05$).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Описываемая ситуация сохраняется на протяжении нескольких десятков лет и остается актуальной. Однократное обследование экосистемы, как правило, не достаточно информативно, когда речь идет о залповом загрязнении. В случае, если поступление нефти в реку происходит достаточно часто в течение многих лет, то экосистема переживает и можно по результатам однократного обследования попытаться оценить ее состояние при сравнении с аналогичными водотоками, не подверженными загрязнению, либо с участками той же реки, которые условно можно принять за фоновые.

Лабораторные эксперименты показали, что при залповом загрязнении, пока нефть в водном объекте не расслоилась на фракции, как правило, происходит деградация зоопланктонного сообщества. Нефтяные углеводороды нарушают репродуктивную систему Cladocera, нефть склеивает фильтрационный аппарат и препятствует фильтрационному питанию, парафины нарушают обмен веществ через панцирь и т.д. [22, 31]. Однако в реках самоочищение воды происходит достаточно быстро. Поступившая в поверхностные воды нефть вступает в общую цепь сложных процессов (испарение, растворение, эмульгирование, окисление, образование агрегатов, седиментация, биodeградация) [7]. В итоге тяжелые фракции нефти (смолы, асфальтены, парафины и др.) сорбируются в донных отложениях, а легкие испаряются. Адаптационные возможности зоопланктона рек данного региона достаточно высоки. Зоопланктонное сообщество достаточно быстро восстанавливает свою структуру. Исчезнувшие на каком-то участке виды быстро замещаются такими же или аналогичными с участков реки, находящихся выше по течению, из окружающих болот и малых озер или из боковых притоков. И уже спустя достаточно короткий период времени нарушений в зоопланктонном сообществе, в отличие от бентосного, как правило, не обнаруживается [7, 28]. Некоторое изменение в структуре сообщества можно отметить только на участках с высоким уровнем загрязнения донных отложений (результат взаимодействия водных масс с донными отложениями) и с замедленным течением.

Литературных данных по зоопланктону правобережных притоков Средней и Нижней Оби севернее р. Чулым нет [6]. Зоопланктон ряда левобережных притоков изучен сравнительно хорошо, в том числе зоопланктон водотоков бассейна р. Васюган в районах нефтедобычи [11, 32]. Одна-

ко стоит учесть, что право- и левобережные притоки — различных гидрологических типов. Правобережные притоки протекают в слабовыраженных широких долинах, для них характерны сильная извилистость русла, очень малые уклоны и низкая скорость течения. Пойма, как правило, заболочена, с множеством мелких речек, озер, стариц. Левобережные притоки формируются на восточных склонах Уральских гор. В верхнем и чаще всего в среднем течении они имеют характер типичных горных рек, только в низовьях приобретая черты равнинного водотока. В левобережных притоках видовое разнообразие и количественные показатели зоопланктона увеличиваются от истоков к устью [6]. При этом количественные показатели зоопланктона в нижнем течении притоков Средней и Нижней Оби значительно различаются. В притоках Средней Оби численность зоопланктона достигает 14.6 тыс. экз/м³, 1.058 г/м³ [11]. В притоках Нижней Оби — до 5.5 тыс. экз/м³, 0.06 г/м³ [6]. Из исследованных левобережных рек наиболее сопоставима с р. Ватинский Ёган по скорости течения и характеру водосбора р. Васюган. Однако в р. Васюган также отмечено увеличение численности и биомассы зоопланктона от 3.9 тыс. экз/м³ и 0.09 г/м³ в среднем течении до 8.9 тыс. экз/м³ и 0.17 г/м³ в нижнем течении [32], тогда как на исследованном участке р. Ватинский Ёган наблюдается обратная картина (таблица). Таким образом, в настоящее время нет данных для выявления “фоновых” водотоков.

Можно было бы предположить, что снижение численности и биомассы зоопланктона в р. Ватинский Ёган вниз по течению происходит за счет эффекта накопления воздействия нефтепродуктов на сообщество, продвигающееся вниз по реке. Однако дисперсионный анализ количественных и качественных показателей зоопланктона в зависимости от концентраций нефтепродуктов в воде и в донных отложениях такое предположение не подтверждают.

Нефть — природный материал. Все составляющие ее углеводороды, включая ароматические, — результат преобразования живого вещества и, следовательно, не “чужие” для водных организмов. Для зоопланктона может наблюдаться даже эффект стимуляции сырой нефтью. Так, Р. МакКаули [27] изучала малую р. Мутную (Muddy River) в штате Массачусетс после разлива нефти, значительное количество которой попало в реку (концентрация в воде в момент аварии 0.221 мг/дм³, в грунтах 0.230–1.930 мг/кг) и продолжало поступать продолжительное время из окружающих почв на водосборе. Произошло резкое ухудшение

кислородного режима, гибель рыбы, однако количественные показатели зоопланктона практически не изменились, наблюдалась только перестройка видового состава. Часть видов (представители родов *Rotaria*, *Synchaeta*, *Daphnia*) выпали из сообщества, тогда как другие (родов *Asplanchna*, *Keratella*, *Polyarthra*, *Cyclops*) получили массовое развитие. Ситуация схожа с наблюдаемой в р. Ватинский Ёган.

Для перемещения водной массы вниз на 4–10 км (от одной точки до другой) требуется 11–27 ч. За это время часть особей погибнет, часть размножится. Необходимо учитывать и поступление зоопланктона, не затронутого загрязнением, из пойменных болотных систем, что смазывает цельную картину реакции сообщества на токсическое воздействие, в данном случае на воздействие сырой нефти.

Особенности гидрологического режима рек не позволяют в равной мере развиваться всем группам зоопланктона. Так, в данном водотоке невозможно применить критерии оценки степени загрязнения, рассчитываемые по соотношению численности $N_{Cladocera}/N_{Copepoda}$ [4, 8], поскольку на всех исследованных участках отмечено некоторое преобладание долевого участия кладоцер. Возможно, такие особенности зоопланктонного сообщества обусловлены именно тем, что река протекает по сильно заболоченной местности, в которой небольшие озера и водотоки, не подвергшиеся загрязнению, обладают благоприятными условиями для развития ветвистоусых рачков и могут быть рефугиумами для восстановления видового и количественного состава сообщества реки. В сообществе зоопланктона р. Ватинский Ёган *Calanoida* встречались единично и только на отдельных участках, что делает неадекватной оценку и по соотношению биомасс $B_{Cyclopoida}/B_{Calanoida}$. Для определения экологической ситуации в данном водотоке наиболее применимыми оказались продукционные показатели отдельных видов-индикаторов коловраток [9].

Возрастание величины индекса H свидетельствует о более благоприятных условиях в сообществе, при которых количественное развитие видов равноценное [3]. При загрязнении водной экосистемы в зоопланктоне 1–2 вида преобладают по численности и биомассе [4, 8]. Индекс H может достигать достаточно высоких значений из-за малой численной каждого вида и, соответственно, высокой степени выравненности в зоопланктонном сообществе, что не позволяет правильно оценить качество воды, однако может выявить различия между участками, что и наблюдается для экосистемы р. Ватинский Ёган. Ин-

декс сапробности тоже не всегда выявляет различия состояния различных участков заболоченного водотока как из-за дрефта, так и из-за быстрой перестройки зоопланктонного сообщества за счет поступления организмов из окружающих рефугиумов. Степень влияния концентрации нефтепродуктов в воде на величины индекса H и индекса S оказалась достоверной, но невысокой.

В связи с такой неоднозначной оценкой качества воды в реках необходимо анализировать в совокупности гидрохимические и гидробиологические параметры экосистемы, обязательно учитывая, помимо зоопланктона, показатели бентоса и перифитона, которые дают более адекватную картину нефтяного загрязнения [1, 13].

ВЫВОДЫ

Зоопланктон реки Ватинский Ёган представляет собой комплекс сообществ, способных к быстрой перестройке и к восстановлению своей структуры после нарушений, вызванных поступлением нефти и нефтепродуктов. Замещение выпавших в результате токсического воздействия зоопланктонных организмов происходит в течение очень короткого периода времени, главным образом за счет поступления зоопланктона из пойменных болотных систем.

Отмечается как угнетающее, так и стимулирующее влияние присутствующих в воде углеводов на развитие отдельных видов зоопланктона. Численность и биомасса зоопланктонного сообщества, как и его отдельных групп, не могут быть показателями качества воды.

Оценить степень “измененности” зоопланктонного сообщества в реке, периодически подвергающейся нефтяному загрязнению на различных участках, не представляется в данный момент возможным, поскольку нет понятия “здоровой” структуры. Изучение “фоновых” рек, находящихся в аналогичных условиях, — насущная задача. Однако и выделение таких “фоновых” водотоков в нефтедобывающих районах — проблема, поскольку трудно идентифицировать районы, не подвергшиеся воздействию и со схожими планктонными популяциями для организации контроля.

При оценке состояния водотоков после нефтяного загрязнения необходимо использовать комбинаторные индексы биологической индикации, по возможности охватывая все звенья экосистемы, в частности перифитон, бентос и т.д., поскольку зоопланктон — по сути, транзитное сообщество — не дает целостной картины загрязнения реки.

Для зоопланктона наиболее показательны соотношение видов внутри каждой группы и расчетные индексы (H и S), учитывающие степень представленности каждого вида в сообществе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Акатьева Т.Г., Михайлова Л.В., Исаченко-Боме Е.А.* Исследование токсичности донных отложений реки Ватинский Ёган с помощью *Paramecium caudatum* и *Daphnia magna* и последствия загрязнения для бентофауны // Тез. докл. Междунар. науч. конф. “Малые реки: Современное экологическое состояние, актуальные проблемы”. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2001. С. 5.
2. *Александрова В.В.* Применение метода биотестирования в анализе токсичности природных и сточных вод (на примере Нижневартовского района Тюменской области). Нижневартовск: Изд-во НВГУ, 2009. 94 с.
3. *Алимов А.Ф.* Элементы теории функционирования водных экосистем. СПб.: Наука, 2000. 147 с.
4. *Андроникова И.Н.* Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных экосистем. СПб.: Наука, 1996. 189 с.
5. *Балушкина Е.В., Винберг Г.Г.* Зависимость между длиной и массой тела планктонных ракообразных // Экспериментальные и полевые исследования биологических основ продуктивности озер. Л.: ЗИН АН СССР, 1979. С. 59–79.
6. *Богданова Е.Н.* Зоопланктон Нижней Оби – изученность и современное состояние // Научный вестник. Материалы по флоре и фауне Ямало-Ненецкого автономного округа. 2004. Вып. 3 (29). С. 35–39.
7. *Воробьев Д.С.* Донные сообщества пойменно-речных систем бассейна Васюгана в условиях нефтяного загрязнения. Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Томск: ТГУ, 2003. 19 с.
8. *Иванова М.Б.* Экспресс-метод определения степени загрязнения равнинных рек по составу планктонных ракообразных // Биология внутрен. вод. 1997. № 3. С. 51–56.
9. *Крылов А.В.* Зоопланктон равнинных малых рек. М.: Наука, 2005. 262 с.
10. Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель. Утв. Минприроды РФ, Роскомзем, Минсельхозпрод РФ. 1995.
11. *Минина М.В., Нуязина Е.В., Карташев А.Г.* Зоопланктон нефтезагрязненных районов Средней Оби // Вест. Тамбовского ун-та. Сер. естеств. техн. науки. 2014. № 19(5). С. 1316–1320.
12. *Михайлова Л.В.* Современный гидрохимический режим и влияние загрязнений на водную экосистему и рыбное хозяйство Обского бассейна (обзор) // Гидробиол. журн. 1991. № 27(5). С. 80–90.
13. *Михайлова Л.В., Исаченко-Боме Е.А., Акатьева Т.Г., Рыбина Г.Е., Кудрявцев А.А., Петухова Г.А., Тупицина Л.С.* Комплексная экологическая оценка состояния реки Ватинский Ёган, пересекающей территорию нефтедобывающих предприятий Нижневартовского района Тюменской области // Пути реализации нефтегазового потенциала Ханты-Мансийского автономного округа. Ханты-Мансийск: Путиведь, 2002. Т. 2. С. 287–295.
14. *Оксиюк О.П., Жукинский В.Н., Брагинский Л.П., Линник Г.Н., Кузьменко М.И., Кленус В.Г.* Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. 1993. № 29 (4). С. 62–76.
15. *Петухова Г.А.* Токсикогенетический анализ влияния проб грунта из р. Ватинский Ёган // Тез. докл. Междунар. науч. конф. “Малые реки: Современное экологическое состояние, актуальные проблемы”. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2001. С. 165.
16. Порядок определения размеров ущерба от загрязнения земель химическими веществами. Утв. Минприроды РФ, Роскомземом, Минсельхозпродом, Госсанэпиднадзором. 1993.
17. *Ратушняк А.А., Андреева М.Г., Латыпова В.З., Гарилова Л.Г.* Токсическое действие нефти и продуктов ее переработки на *Daphnia magna* Straus // Гидробиол. журн. 2000. № 36(6). С. 92–101.
18. *Розенберг Г.С.* Информационный индекс и разнообразие: Больцман, Котельников, Шеннон, Уивер // Самарская Лука: проблемы региональной и глобальной экологии. 2010. № 19 (2). С. 4–25.
19. Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / Под ред. Абакумова В.А. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
20. *Рыбина Г.Е., Михайлова Л.В.* Биотестирование грунтов реки Ватинский Ёган с помощью *Scenedesmus quadricaudata* и *Limnodrilus hoffmeisteri* // Тез. докл. Междунар. науч. конф. “Малые реки: Современное экологическое состояние, актуальные проблемы”. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2001. С. 177.
21. *Шутиков В.К., Розенберг Г.С., Зинченко Т.Д.* Количественная гидроэкология: методы, критерии, решения. Кн. 1. М.: Наука, 2005. 280 с.
22. *Almeda R., Wambaugh Z., Wang Z., Hyatt C., Liu Z., Buskey E.J.* Interactions between Zooplankton and Crude Oil: Toxic Effects and Bioaccumulation of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons // PLoS ONE. 2013. № 8(6). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0067212>
23. *Davenport J., Angel M.V., Gray J.S., Crisp D.J., Davies J.M.* Oil and Planktonic Ecosystems: Discussion. Philosophical transactions of the royal society // B. Biol. Sci. 1982. № 297(1087). P. 369–384.
24. *Ermolaeva N.I., Dvurechenskaya S.Ya.* Regional indices of the indicator significance of zooplanktonic organisms in water bodies of southern Western Siberia // Russian J. Ecol. 2013. № 44 (6). P. 527–531.
25. *Fefilova E.B.* The state of a river in Pechora basin after an oil spill: Assessment of changes in zooplankton community // Water Resour. 2011. № 38 (5). P. 637–649.
26. <http://www.meteomanz.com> Meteorological data from worldwide locations obtained from SYNOP and BUFR messages issued by official weather stations.

27. *McCauley R.N.* The biological effects of oil pollution in a river // *Limnol. Oceanogr.* 1966. № 11(4). P. 475–486.
28. *Mingazova N.M., Derevenskaya O.Y., Palagushkina O.V., Nabeeva E.G., Blatt L.V.* Criteria of rehabilitation of biotic communities in oil-polluted small rivers (by example of the Shava River, Nizhnii Novgorod oblast) // *Inland Water Biol.* 2014. № 7 (3). P. 192–200.
29. *Protasov A.A.* River's and lake's continuum: An attempt at analysis and synthesis // *Inland Water Biol.* 2008. № 1 (2). P. 105–113.
30. *Sládeček V.* System of Water Quality from the Biological point of View // *Archive Hydrobiologia. Ergebnisse der Limnologie.* 1973. № 7. P. 1–218.
31. *Wong C.K., Engelhardt F.R., Strickler J.R.* Survival and Fecundity of *Daphnia pulex* on Exposure to Particulate Oil // *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 1981. № 26. P. 606–612.
32. *Yermolaeva N.I.* Modern state of zooplankton in Vasyugan River // *Contemporary Problems of Ecol.* 2013. № 6. P. 627–633.