

Характеристика фитопланктона и фитоперифитона оз. Пясино и его притоков после аварийного разлива нефтепродуктов 2020 г.

Е. С. КРАВЧУК¹, А. В. КОТОВЩИКОВ², Е. А. ИВАНОВА^{1, 3}

¹Институт биофизики СО РАН Федеральный исследовательский центр
“Красноярский научный центр СО РАН”
660036, Красноярск, Академгородок, 50/50
E-mail: kravchuk@ibp.krasn.ru

²Институт водных и экологических проблем СО РАН
656038, Барнаул, ул. Молодежная, 1

³Сибирский федеральный университет
660041, Красноярск, просп. Свободный, 79

Статья поступила 03.02.2021

После доработки 27.02.2021

Принята к печати 04.03.2021

АННОТАЦИЯ

Проведена оценка видового состава, численности, биомассы и пигментных характеристик фитоперифитона и фитопланктона оз. Пясино, впадающих в него водотоков (руч. Безымянный, реки Далдыкан, Амбарная, Норильская) и истока р. Пясины после техногенной аварии – разлива дизельного топлива в районе г. Норильска в мае 2020 г. Значительное снижение биомассы и изменение видовой структуры фитоперифитона при загрязнении нефтепродуктами выявлено только для участков вблизи от места разлива (р. Далдыкан и р. Амбарная ниже устья р. Далдыкан). Как отклик на механическую очистку береговой линии и высвобождение биогенов при разложении нефтепродуктов и отмерших организмов, ниже по течению в толще воды приустьевой зоны р. Амбарной отмечен массовый рост диатомовых и зеленых водорослей (*Tabularia tabulata*, *Spirogyra* sp.) и появление в составе планктона эвгленовых и криптофитовых водорослей – индикаторов органического загрязнения. Не обнаружено существенных изменений структурно-количественных показателей планктона оз. Пясино и р. Пясины по сравнению с данными, полученными во второй половине XX в. (т. е. задолго до аварии). Видовой состав и количественные характеристики планктона и перифитона, а также количество и соотношение пигментов фитопланктона оз. Пясино и р. Пясины были характерны для нормально функционирующего пресноводного сообщества олиготрофных вод. Все это указывает на отсутствие негативного воздействия аварийного разлива нефтепродуктов на экосистемы оз. Пясино и р. Пясины.

Ключевые слова: нефтяное загрязнение, пресноводные экосистемы, фитопланктон, фитоперифитон, фотосинтетические пигменты, оз. Пясино, р. Амбарная.

Загрязнение поверхностных вод в результате техногенного поступления нефтепродуктов в большинстве случаев приводит к изменениям во всех звеньях их экосистем, включая

планктонные и бентосные водоросли – один из ключевых элементов водных сообществ [Jernelov, 2010; Perhar, Arhonditsis, 2014]. Влияние нефтепродуктов на водоросли видоспецифично, а также в значительной степени зависит от их состава, концентрации и продолжительности воздействия [Miller et al., 1978; Davenport, 1982; Albers, 1992; Perhar, Arhonditsis, 2014]. Под влиянием высоких концентраций наблюдается снижение продуктивности, биомассы и фотосинтетической активности водорослей, изменяется видовой состав сообщества; более низкие концентрации, напротив, могут оказывать стимулирующее действие. На клеточном уровне токсическое действие нефтепродуктов может проявляться в нарушениях клеточного цикла (что приводит к снижению частоты клеточных делений и увеличению размеров клеток), снижении фотосинтетической активности и концентрации фотосинтетических пигментов [Perhar, Arhonditsis, 2014].

К настоящему времени проведено достаточно много экспериментальных работ (как на культурах, так и на природных сообществах) по оценке влияния нефтепродуктов на различные аспекты жизнедеятельности водорослей. Также достаточно хорошо изучены последствия попадания нефтепродуктов в морские экосистемы, что во многом связано с вниманием общества к регулярно происходящим масштабным разливам нефти из-за аварий морских буровых установок, нефтепроводов и нефтеналивных судов. Влияние нефтяных загрязнений на пресноводные альгоценозы изучено существенно хуже, а исследования, проводящиеся в арктической зоне, вообще единичны (см. обобщающие работы [Miller et al., 1978; Davenport, 1982; Трифонова, 1990; Станиславская, 1994; Трифонова, Петрова, 1994; Стенина, 1996; Jernelov, 2010; Perhar, Arhonditsis, 2014]). В то же время именно экосистемы высоких широт вследствие низкого уровня энерго- и массообмена и замедленных процессов самоочищения характеризуются повышенной уязвимостью [Vincent, Laybourn-Parry, 2008], и даже незначительные изменения структурных и количественных показателей их альгоценозов могут привести к серьезным изменениям всей экосистемы.

Расположенная на п-ове Таймыр Норило-Пясинская озерно-речная система являет-

ся уникальным водным объектом Арктической зоны. В мае 2020 г. на территории Норильского промышленного района произошла аварийная утечка дизельного топлива, что привело к загрязнению нефтепродуктами ряда водоемов и водотоков Норило-Пясинской системы. Целью данной работы стала оценка изменения структурных и функциональных показателей фитопланктона и фитоперифитона оз. Пясино, его притоков и истока р. Пясины после аварийного разлива нефтепродуктов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Норило-Пясинская водная система представляет собой сеть озер, связанных водотоками. Подробное описание района исследований и карта точек отбора проб приводятся в статье Д. М. Безматерных с соавторами (наст. выпуск). Пробы отбирали 4–11 августа 2020 г. на 13 станциях: в руч. Безымянном (ст. 1), в который во время утечки попало дизельное топливо; в р. Далдыкан выше (ст. 2) и ниже (ст. 3) устья руч. Безымянного; в р. Амбарной выше (ст. 4) и ниже (ст. 5, 6 и 13) устья р. Далдыкан; в р. Норильской (ст. 12); в оз. Пясино (ст. 7–10), в которое впадают реки Амбарная и Норильская; в истоке вытекающей из озера р. Пясины (ст. 11).

Для отбора проб фитоперифитона на дно помещали стальную рамку 10 × 10 см, из которой изымали гальку. На каждом участке галечный субстрат отбирали в трех разных точках и объединяли в одну пробу. Перифитонные водоросли снимали с субстрата с помощью щетки и помещали в пластиковую банку с небольшим количеством речной/озерной воды. В стационарных условиях 10 мл пробы помещали в пенициллиновый флакон и консервировали фиксатором на основе раствора Люголя в модификации Г. В. Кузьмина [Руководство..., 1992]. Пробы отбирали только на участках с галечным грунтом (ст. 1–5, 7, 11, 12).

Пробы воды для оценки видового состава и количественных показателей фитопланктона в реках и прибрежных участках оз. Пясино отбирали пластиковым ведром из поверхностного горизонта. На глубоководных участках озера отбирали интегральные пробы воды с горизонтов 0–1,5–2,5 м (ст. 8) и 0–2,5–5 м (ст. 10) с помощью батометра типа Рутнера объемом 6 л. Пробы воды объемом 0,5–2 л фильтровали че-

рез мембранные фильтры марки МФАС-ОС-2 (Владипор, Россия; диаметр пор 0,45 мкм). Фильтры помещали в пенициллиновые флаконы с 5 мл фильтрованной воды и добавляли фиксатор на основе раствора Люголя в модификации Г. В. Кузьмина [Руководство..., 1992].

Определение видового состава и численности водорослей проводили в камере Фукса-Розенталя объемом 3,2 мкл. Численность и биомассу макроводоросли *Spirogyra* sp. оценивали в камере объемом 1 мл на инвертированном микроскопе Leica DM IL LED (Leica Microsystems GmbH, Германия). Размеры клеток определяли с помощью окуляр-микрометра. Биомассу рассчитывали по объему клеток, приравнивая удельную массу к единице [Руководство..., 1992].

Пробы воды для определения содержания фотосинтетических пигментов фитопланктона отбирали из приповерхностного слоя воды. Водоросли концентрировали вакуумной фильтрацией на мембранные фильтры марки МФАС-ОС-3 (Владипор, Россия; диаметр пор 0,8 мкм). Фотосинтетические пигменты фитопланктона анализировали спектрофотометрическим методом в ацетоновом экстракте [Сиренко, 1975; ГОСТ 17.1.4.02-90; Руководство..., 1992].

Качество воды определяли по индексу сапробности (методом Пантле и Букка) в модификации Сладечека [Макрушин, 1974]. Индивидуальные индексы сапробности взяты из литературных источников [Водоросли, 1989; Барина и др., 2000]. По величинам индекса сапробности определяли класс качества воды согласно [РД 52.24.309-2011]. Оценку качества воды по концентрации хлорофилла *a* проводили в соответствии с [Оксиюк и др., 1993], а трофического статуса – по [Environment..., 2004].

РЕЗУЛЬТАТЫ

Видовой состав, численность и биомасса водорослей

В руч. Безымянный, реках Далдыкан и Норильской численность, биомасса и видовое богатство фитоперифитона и фитопланктона в целом были невысокими, доминировали диатомовые водоросли и цианопрокариоты (табл. 1–4). В воде наблюдалось большое количество взвешенных частиц (детрита), часто

встречались пустые створки разных видов диатомей. В р. Далдыкан на ст. 3 (расположенной ниже впадения загрязненного нефтепродуктами руч. Безымянного) по сравнению со ст. 2 (фон) существенно уменьшалось видовое богатство перифитона, а также на порядок снижалась биомасса как перифитона, так и планктона.

Перифитон фонового участка р. Амбарной (ст. 4) отличали более высокие по сравнению с остальными реками видовое богатство (17 видов), численность (57729 млн кл./м²) и биомасса (135 г/м²), а также доминирование зеленой водоросли *Spirogyra* sp. и диатомовой *Aulacoseira islandica* (см. табл. 1 и 2). Ниже по течению (ст. 5), после впадения р. Далдыкан, перифитон был покрыт темным налетом, при соскрепании водорослей с камней на поверхности воды появлялись радужные разводы. Биомасса и численность фитоперифитона по сравнению с фоновой ст. 4 снижались на порядок (см. табл. 2). Видовой состав и биомасса фитопланктона на станциях 4 и 5 существенно не отличались (см. табл. 1 и 2).

Ниже по течению р. Амбарной (ст. 6) численность и биомасса фитопланктона резко возросли (до 8663 тыс. кл./л и 9,2 мг/л соответственно), в основном в результате массового развития (“цветения” воды) диатомовой водоросли *Tabularia tabulata* (альфа-мезосапроб). Биомасса *Spirogyra* sp. в толще воды на этой станции составляла только 10 % от биомассы фитопланктона, однако в придонном слое визуально отмечались скопления нитей спиригиры (грунт был илисто-песчаный, поэтому пробы фитоперифитона не отбирали). Также следует отметить появление на этой станции эвгленовых и криптофитовых водорослей – индикаторов органического загрязнения. Ниже по течению в приустьевой зоне (ст. 13) численность и биомасса фитопланктона снизились до 5491 тыс. кл./л и 1,8 мг/л соответственно, число видов возросло до 25, по биомассе доминировали крупные диатомеи, увеличилось число видов зеленых хлорококковых водорослей, появились золотистые и динофитовые водоросли.

Перифитон оз. Пясино был относительно богат видами (18), биомасса составила 0,9 г/м², численность – 1389 млн кл./м². По биомассе преобладали диатомовые водоросли, по численности – цианопрокариоты (см. табл. 1 и 2).

Т а б л и ц а 1
Видовой состав фитоперифитона оз. Пясино и впадающих в него водотоков 4–11 августа 2020 г.

Вид	руч. Бевьянный		р. Далдыкан		р. Амбарная		р. Норильская		оз. Пясино		р. Пясина		S
	Ст. 1	Ст. 2	Ст. 3	Ст. 4	Ст. 5	Ст. 12	Ст. 7	Ст. 11					
Суанопрокюта													
<i>Chamaesiphon</i> sp.		дч		++					дч		дч		–
<i>Oscillatoria</i> spp.	дч			дч									–
Oscillatoriales				++					++				–
Nostocales													–
Vacillariophyta													–
<i>Achnanthes</i> sp.		++	дч	++	++	++					++		–
<i>Aulacoseira islandica</i> (O. Müll.) Simonsen				++	дб				++				2,00
<i>Caloneis silicula</i> (Ehr.) Cl.	дб			++	++								1,50
<i>Cocconeis pediculus</i> Ehr.				++	++				++				1,75
<i>Diatoma elongata</i> (Lyngb.) Ag.				++	++				++				1,50
<i>Eucyonema ventricosum</i> (Ag.) Grun.		++	дб	++	++		++		++		++		1,35
<i>Epithemia gibba</i> (Ehr.) Kutz.		++		++					++		++		1,00
<i>Fragilaria</i> sp.		++							++		++		–
<i>Gomphonema</i> sp.		++		++					++		++		–
<i>Gomphonema acuminatum</i> Ehr.									++		++		1,70
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kutz.) Rabenh.		++			++				++				2,20
<i>Hannaea arcus</i> (Ehr.) Patrick		++			++								0,40
<i>Meridion circulare</i> Ag.		++			++								0,65
<i>Navicula cryptocephala</i> Kutz.												дб	2,70
<i>Navicula</i> spp.				++				дб			++		–
<i>Nitzschia</i> spp.				++					++		++		–
<i>Rhoicosphenia abbreviata</i> (Ag.) Lange-Bertalot				++					++		++		1,85
<i>Symedra</i> sp.				++					++		++		–
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kutz.									++		++		0,60
<i>Tabularia tabulata</i> (Ag.) Snoeijjs				++	++				++		++		2,70
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère	++			++	++				дб		++		1,95
Chlorophyta													–
<i>Ankistrodesmus arcuatus</i> Korsh.					++				++		++		–
<i>Closteriopsis longissima</i> (Lemm.) Lemm.									++		++		–
<i>Pandorina morum</i> (O. F. Müller) Bory				++									2,00
<i>Stigeoclonium tenue</i> (Ag.) Kutz.					дч								2,70
<i>Ulothrix</i> sp.				++									–
Charophyta													–
<i>Spirogyra</i> sp.				дб	++								–
Всего	3	9	2	17	14	4	18	11					

Примечание. S – сапробный индекс вида; ++ – вид зарегистрирован; дч, дб – первый доминант по численности или биомассе соответственно; фоновые станции выделены жирным шрифтом.

Общая численность, биомасса и доминирующие виды (первые три в ранжированном ряду численностей/биомасс на станции) фитоперифитона в оз. Пясино и впадающих в него водотоках 4–11 августа 2020 г.

Описание станции	№ станции	Численность, млн кл/м ²	Биомасса, г/м ²	Доминирующий комплекс видов по численности	Доминирующий комплекс видов по биомассе
руч. Безымянный, зона разлива	1	52,7	0,01	<i>Oscillatoria</i> sp. <i>Tabularia tabulata</i> <i>Caloneis silicula</i>	<i>Caloneis silicula</i> <i>Tabularia tabulata</i> <i>Oscillatoria</i> sp.
р. Далдыкан, фон	2	1436,7	0,26	<i>Chamaesiphon</i> sp. <i>Achnanthes</i> sp. <i>Fragilaria</i> sp.	<i>Tabellaria flocculosa</i> <i>Chamaesiphon</i> sp. <i>Achnanthes</i> sp.
р. Далдыкан, ниже руч. Безымянного	3	9,8	0,01	<i>Achnanthes</i> sp. <i>Encyonema ventricosum</i>	<i>Encyonema ventricosum</i> <i>Achnanthes</i> sp.
р. Амбарная, фон	4	57728,9	135,00	Oscillatoriales <i>Aulacoseira islandica</i> Nostocales	<i>Spirogyra</i> sp. <i>Aulacoseira islandica</i> <i>Ulnaria ulna</i>
р. Амбарная, ниже впадения р. Далдыкан	5	9077,2	15,57	<i>Stigeoclonium tenue</i> <i>Aulacoseira islandica</i> <i>Diatoma elongata</i>	<i>Aulacoseira islandica</i> <i>Spirogyra</i> sp. <i>Stigeoclonium tenue</i>
р. Норильская, р-н аэропорта Валек	12	34,3	0,05	<i>Tabularia tabulata</i> <i>Navicula</i> spp. * <i>Achnanthes</i> sp., <i>Encyonema ventricosum</i>	<i>Navicula</i> spp. <i>Encyonema ventricosum</i> <i>Tabularia tabulata</i>
оз. Пясино, мыс Тонкий, у берега	7	1389,1	0,94	<i>Oscillatoria</i> sp. Nostocales <i>Tabularia tabulata</i>	<i>Ulnaria ulna</i> <i>Epithemia gibba</i> <i>Gomphonema acuminatum</i>
р. Пясино, исток из озера	11	333,1	0,20	<i>Oscillatoria</i> sp. <i>Tabularia tabulata</i> <i>Navicula cryptocephala</i>	<i>Navicula cryptocephala</i> <i>Ulnaria ulna</i> <i>Tabularia tabulata</i>

* Виды, перечисленные через запятую, имеют равную численность, тогда в списке доминантов по биомассе помещается четвертый в ранжированном ряду биомасс вид.

Численность и биомасса фитопланктона оз. Пясино были невысокими (659–1914 тыс. кл/л и 0,3–0,4 мг/л), доминировали по биомассе диатомовые и золотистые водоросли, а по численности – зеленые хлорококковые, диатомовые и цианопрокариоты (см. табл. 2 и 3). Видовое богатство и количественные показатели фитоперифитона и фитопланктона истока р. Пясино были несколько ниже, чем в озере, по биомассе доминировали диатомовые, по численности – цианопрокариоты и диатомовые (см. табл. 1–4).

Пигментные характеристики фитопланктона

Содержание основного фотосинтетического пигмента водорослей – хлорофилла *a* (Хл *a*) – в исследованных водных объектах варьировало от 0,1 до 8,8 мг/м³ (табл. 5). Наибольшие значения, характерные для эвтрофных

вод (более 8 мг/м³), отмечены в руч. Безымянном и в р. Амбарной ниже впадения р. Далдыкан. Крайне низкое значение Хл *a* (0,1 мг/м³) зафиксировано в р. Далдыкан выше впадения руч. Безымянного. В устье р. Далдыкан, а также в р. Амбарной (выше впадения р. Далдыкан и в устье), значения показателя варьировали в диапазоне мезотрофных вод (3,3–4,2 мг/м³). В оз. Пясино концентрация Хл *a* на большинстве станций не превышала диапазона олиготрофных вод (1,4–1,9 мг/м³), за исключением прибрежной станции у мыса Тонкий, где показатель был незначительно выше (3,0 мг/м³). В истоке р. Пясино уровень Хл *a* соответствовал олиготрофному диапазону (2,0 мг/м³). В фоновом водотоке – р. Норильская – содержание пигмента также не превышало уровня олиготрофных водных объектов.

Доля хлорофилла *a* от его суммы с хлорофиллами *b* и *c* на большинстве исследованных

Вид	руч. Безымянный		р. Далдыкан		р. Амбарная		р. Норильская		оз. Пясино		р. Пясина		S		
	Ст. 1	Ст. 2	Ст. 3	Ст. 4	Ст. 5	Ст. 6	Ст. 7	Ст. 8	Ст. 9	Ст. 10	Ст. 11	Ст. 12		Ст. 13	Ст. 14
Суанопрокауота															
<i>Atabaena</i> sp.															
<i>Lyngbya</i> sp.															
<i>Meristopedia</i> sp.															
<i>Oscillatoria</i> spp.															
<i>Pseudanabaena</i> sp.															
Oscillatoriales															
Неидентифицированные мелкие кокколдиты															
Bacillariophyta															
<i>Achnanthes</i> sp.															
<i>Asterionella formosa</i> Hass.															
<i>Aulacoseira distans</i> (Ehr.) Simonsen															
<i>Aulacoseira islandica</i> (O. Müll.) Simonsen															
<i>Caloneis silicula</i> (Ehr.) Cl.															
<i>Cocconeis pediculus</i> Ehr.															
<i>Diatoma elongata</i> (Lyngb.) Ag.															
<i>Encyonema ventricosum</i> (Ag.) Grun.															
<i>Epithemia gibba</i> (Ehr.) Kutz.															
<i>Fragilaria</i> spp.															
<i>Gomphonella olivacea</i> (Horn.) Rabenh.															
<i>Gomphonema</i> sp.															
<i>Gyrosigma acuminatum</i> (Kutz.) Rabenh.															
<i>Hannaea arcus</i> (Ehr.) Patrick															
<i>Iconella</i> sp.															
<i>Meridion circulare</i> Ag.															
<i>Melosira varians</i> Ag.															
<i>Navicula</i> spp.															
<i>Nitzschia</i> spp.															
<i>Odontidium hyemale</i> (Roth) Kutz.															
<i>Pinnularia gibba</i> Ehr.															
<i>Rhicosphenia abbreviata</i> (Ag.) Lange-Bertalot															
<i>Stauroneisella martyi</i> (Hérub) Morales & Manoylov															
Stephanodiscaceae															
<i>Surirella librite</i> (Ehr.) Ehr.															
<i>Synedra</i> sp.															

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<i>Tabellaria flocculosa</i> (Roth) Kutz.		++												0,60
<i>Tabularia tabulata</i> (Ag.) Snoeijs	++		дч, дб	++	++	дч, дб	++	++	++	дб	++	++	++	2,70
<i>Ulnaria acus</i> (Kütz.) Aboal		++							++	++	++	++	++	1,85
<i>Ulnaria ulna</i> (Nitzsch) Compère		++	++	++	++	++	++		++	++	++	++	++	1,95
Chlorophyta														
<i>Ankistrodesmus arcuatus</i> Korsh.			++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	++	—
<i>Ankistrodesmus falcatus</i> (Corda) Ralfs						++	++		++	++	++	++		2,35
<i>Chlamydomonas</i> sp.														—
<i>Closteropsis longissima</i> (Lemm.) Lemm.							++	++	++	++	++	++	++	—
<i>Coelastrum microporum</i> Nag.					++		++	++	++	++	++	++	++	2,00
<i>Desmodesmus communis</i> (Hegewald) Hegewald							++	++	++	++	++	++	++	2,00
<i>Monorophidium griffithii</i> (Berkeley) Komárková-Legnerová						++	++							2,00
<i>Mucidosphaerium pulchellum</i> (Wood) Bock, Proschold & Krienitz									дч	дч		++		2,15
<i>Nephrocytium agardhianum</i> Nag.								++						—
<i>Oocystis</i> sp.							++	++	++	++	++	++		—
<i>Tetradasmus lagerheimii</i> Wynne & Guiry							++	++	++	++	++	++		2,20
Charophyta														
<i>Closterium</i> sp.								++						—
<i>Cosmarium</i> sp.														—
<i>Spirogyra</i> sp.				++	дб	++	++							—
Chrysophyceae				++										
<i>Dinobryon divergens</i> Imh.				++			++	++	++	++	++	++	++	1,85
<i>Dinobryon sertularia</i> Ehr.							++	++	++	++	++	++	++	1,30
Dinophyceae														
<i>Gymnodinium</i> sp.							++	++	++	++	++	++		—
Xanthophyceae														
<i>Tribonema</i> sp.					++									—
Euglenophyceae														
<i>Euglena</i> sp.							++							—
<i>Euglenafornis proxima</i> (Dangeard) Bennett & Triemer						++								3,45
<i>Phacus pleuronectes</i> (O. F. Müller) Nitzsch ex Dujardin						++								2,00
<i>Trachelomonas</i> sp.						++	++	++	++	++	++	++		—
Cryptophyta														
<i>Sturionomas</i> sp.		4	11	10	11	15	25	18	19	18	19	18	16	—
Всего								18	19	18	19	18	16	

П р и м е ч а н и е. S — сапробный индекс вида, ++ — вид зарегистрирован, дч, дб — первый доминант по численности или биомассе соответственно; фоновые станции выделены жирным шрифтом.

Общая численность, биомасса и доминирующие виды (первые три в ранжированном ряду численностей/биомасс на станции) фитопланктона в оз. Пясино и впадающих в него водотоках 4–11 августа 2020 г.

Описание станции	№ станции	Численность, млн кл/м ²	Биомасса, г/м ²	Доминирующий комплекс видов по численности	Доминирующий комплекс видов по биомассе
руч. Безымянный, зона разлива	1	109,4	0,01	<i>Oscillatoria</i> sp. * <i>Encyonema ventricosum</i> , <i>Nitzschia</i> sp., <i>Tabularia tabulata</i>	<i>Encyonema ventricosum</i> <i>Nitzschia</i> sp. <i>Oscillatoria</i> sp.
р. Далдыкан, фон	2	193,1	0,20	<i>Fragilaria</i> sp. <i>Encyonema ventricosum</i> <i>Hannaea arcus</i>	<i>Hannaea arcus</i> <i>Encyonema ventricosum</i> <i>Ulnaria ulna</i>
р. Далдыкан, ниже руч. Безымянного	3	33,8	0,02	<i>Tabularia tabulata</i> <i>Oscillatoria</i> sp. <i>Asterionella formosa</i>	<i>Tabularia tabulata</i> <i>Melosira distans</i> <i>Ulnaria ulna</i>
р. Амбарная, фон	4	1890,9	0,69	Неидентифицированные коккоидные Oscillatoriales <i>Tabularia tabulata</i>	<i>Melosira varians</i> <i>Spirogyra</i> sp. <i>Ulnaria ulna</i>
р. Амбарная, ниже впадения р. Далдыкан	5	850,2	1,05	Неидентифицированные коккоидные, <i>Tabularia tabulata</i> <i>Melosira varians</i>	<i>Spirogyra</i> sp. <i>Melosira varians</i> <i>Tabularia tabulata</i>
р. Амбарная, низовье	6	8663,1	9,21	<i>Tabularia tabulata</i> <i>Oscillatoria</i> sp.	<i>Tabularia tabulata</i> <i>Spirogyra</i> sp. <i>Ulnaria ulna</i>
р. Амбарная, устье ниже бон	13	5491,4	1,82	<i>Lyngbya</i> sp. <i>Tabularia tabulata</i> Oscillatoriales	<i>Surirella librile</i> <i>Tabularia tabulata</i> <i>Epithemia gibba</i>
р. Норильская, р-н аэропорта Валек	12	1209,4	0,10	Неидентифицированные коккоидные <i>Nephrocytium agardhianum</i> <i>Nitzschia</i> sp.	<i>Fragilaria</i> sp. <i>Encyonema ventricosum</i> <i>Tabularia tabulata</i>
оз. Пясино, мыс Тонкий, у берега	7	1175,9	0,40	<i>Mucidosphaerium pulchellum</i> <i>Asterionella formosa</i> <i>Diatoma elongata</i>	<i>Asterionella formosa</i> <i>Diatoma elongata</i> <i>Dinobryon divergens</i>
мыс Тонкий, центр, глубоководная станция	8	715,2	0,27	<i>Mucidosphaerium pulchellum</i> <i>Tabularia tabulata</i> <i>Asterionella formosa</i> <i>Nitzschia</i> sp.	<i>Tabularia tabulata</i> <i>Asterionella formosa</i> <i>Diatoma elongata</i>
оз. Пясино, мыс Гольий, мелководье	9	1914,4	0,40	Oscillatoriales <i>Asterionella formosa</i> <i>Tabularia tabulata</i>	<i>Asterionella formosa</i> <i>Tabularia tabulata</i> <i>Synedra</i> sp.
мыс Гольий, глубоководная станция	10	658,6	0,44	<i>Asterionella formosa</i> <i>Mucidosphaerium pulchellum</i> <i>Oocystis</i> sp.	<i>Asterionella formosa</i> <i>Dinobryon divergens</i> Stephanodisaceae
р. Пясино, исток из озера	11	818,8	0,35	Oscillatoriales <i>Tabularia tabulata</i> <i>Nitzschia</i> sp.	<i>Surirella librile</i> <i>Tabularia tabulata</i> <i>Nitzschia</i> sp.

* Виды, перечисленные через запятую, имеют равную численность, тогда в списке доминантов по биомассе помещается четвертый в ранжированном ряду биомасс вид.

Пигментные характеристики фитопланктона оз. Пясино и связанных с ним рек

Дата	Описание станции	№ станции	Хл <i>a</i> , мг/м ³	Доля хлорофиллов, %			Феопигменты, %	E_{450}/E_{480}	E_{430}/E_{664}	E_{480}/E_{664}
				<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>				
04.08.2020	руч. Безымянный, зона разлива дизтоплива	1	8,8	26	34	39	84	2,1	15,5	5,4
	р. Далдыкан, выше разлива (фон)	2	0,1	66	10	24	19	1,3	3,1	1,8
05.08.2020	р. Далдыкан, ниже впадения руч. Безымянного	3	3,4	36	31	33	65	1,9	9,6	3,6
	р. Амбарная, выше впадения р. Далдыкан (фон)	4	3,3	75	16	9	42	1,8	2,4	0,9
	р. Амбарная, ниже впадения р. Далдыкан – ниже разлива	5	8,2	62	20	18	28	1,9	3,6	1,3
08.08.2020	р. Амбарная, ниже всех бон	13	4,2	75	17	8	55	1,9	2,5	0,9
09.08.2020	р. Норильская, в р-не аэропорта Валек	12	1,2	54	15	31	48	1,5	3,5	1,8
11.08.2020	оз. Пясино, мыс Тонкий, у берега	7	3,0	84	6	9	27	1,6	2,6	1,1
	Центр, глубоководная станция	8	1,9	79	7	14	33	1,6	2,9	1,3
	оз. Пясино, мыс Голый, мелководье	9	1,6	71	12	17	42	1,5	3,1	1,5
	Глубоководная станция	10	1,4	69	13	19	53	1,5	3,3	1,6
	Исток р. Пясины из озера	11	2,0	77	10	13	34	1,6	2,7	1,2

станций превышала 60 %, что характерно для пигментного состава природного пресноводного фитопланктона. Значительное снижение этой доли и соответственное увеличение вклада дополнительных хлорофиллов отмечено в руч. Безымянном и в р. Далдыкан, ниже впадения ручья. На этих станциях доля хлорофиллов *b* и *c* составляла более 60 %. Максимальные значения относительного содержания продуктов распада хлорофиллов (феопигментов) (более 60 %) наблюдали на тех же станциях: в руч. Безымянном и в р. Далдыкан, ниже впадения ручья.

Значения пигментного индекса Маргалёфа (E_{430}/E_{664}) [Margalef, 1961] на большинстве станций были характерны для нормально функционирующего фитопланктона, для которого индекс равен обычно 1,3–4,0 [Бульон, 1983]. Значения пигментного отношения (E_{480}/E_{664}) также были в основном незначительно выше единицы, что указывает на преобладание в планктоне жизнеспособных активных клеток. Многократное превышение значений

обоих индексов отмечено в руч. Безымянном и р. Далдыкан, ниже впадения ручья. Это может быть вызвано значительным преобладанием каротиноидов (более стойких, чем хлорофиллы) в пигментном составе сестона, богатого растительным детритом. Повышенные значения индекса E_{450}/E_{480} (более 1,5) характерны для фитопланктона со смешанным таксономическим составом при значительном участии в биомассе диатомовых и зеленых водорослей.

Качество воды

На большинстве станций величины индексов сапробности, рассчитанные по планктону и перифитону, позволили отнести воду к 1-му классу качества – “условно чистая” или 2-му классу – “слабо загрязненная” (табл. 6, 7). Только в приустьевой части р. Амбарной (ст. 6 и 13) индекс сапробности, рассчитанный по численности перифитона, возрос до 2,55–2,70, что соответствует 3-му классу качества воды – “загрязненная”.

Оценка качества воды по индексу сапробности Пантле и Букка по численности фитопланктона

Дата	Описание станции	№ станции	Индекс сапробности (S)	Класс качества воды*
04.08.2020	руч. Безымянный, зона разлива дизтоплива	1	2,03	II – слабо загрязненная (1,5–2,5)
	р. Далдыкан, выше разлива (фон)	2	1,15	I – условно чистая (<1,5)
05.08.2020	р. Далдыкан, ниже впадения руч. Безымянного	3	2,04	II – слабо загрязненная (1,5–2,5)
	р. Амбарная, выше впадения р. Далдыкан (фон)	4	2,06	
	р. Амбарная, ниже впадения р. Далдыкан – ниже разлива	5	2,16	
09.08.2020	р. Амбарная, низовье (ниже разлива)	6	2,70	III – загрязненная (2,5–3,5)
	р. Амбарная, ниже всех бон	13	2,55	
	р. Норильская, в р-не аэропорта Валек	12	1,78	
11.08.2020	оз. Пясино, мыс Тонкий, у берега	7	1,95	
	Центр, глубоководная станция	8	2,14	
	оз. Пясино, мыс Голый, мелководье	9	1,80	
	Глубоководная станция	10	1,74	
	Исток р. Пясины из озера	11	2,39	

* В скобках приведены величины индекса сапробности, соответствующие данным классу качества и степени загрязненности воды.

Оценка качества воды по индексу сапробности Пантле и Букка по численности фитоперифитона

Дата	Описание станции	№ станции	Индекс сапробности (S)	Класс качества воды*
04.08.2020	руч. Безымянный, зона разлива дизтоплива	1	2,30	II – слабо загрязненная (1,5–2,5)
	р. Далдыкан, выше разлива (фон)	2	0,90	I – условно чистая (<1,5)
05.08.2020	р. Далдыкан, ниже впадения руч. Безымянного	3	1,35	II – слабо загрязненная (1,5–2,5)
	р. Амбарная, выше впадения р. Далдыкан (фон)	4	2,00	
	р. Амбарная, ниже впадения р. Далдыкан, ниже разлива	5	2,28	
09.08.2020	р. Норильская, в р-не аэропорта Валек	12	2,25	
11.08.2020	оз. Пясино, мыс Тонкий, у берега	7	2,30	
	Исток р. Пясины из озера	11	2,53	

* В скобках приведены величины индекса сапробности, соответствующие данным классу качества и степени загрязненности воды.

Оценка качества воды по концентрации хлорофилла *a*, как одного из эколого-санитарных (трофо-сапробиологических) показателей качества, показала, что вода на большинстве исследованных станций соответствовала классу 1 (“предельно чистая”). Лишь вода из руч. Безымянного и из р. Далдыкан, ниже его впадения, характеризовалась классом 2 (“чистая”).

ОБСУЖДЕНИЕ

Загрязнение водотоков Норило-Пясинской системы нефтепродуктами привело к угне-

тению бентосных и планктонных водорослей на территории, прилегающей к месту разлива (р. Далдыкан, р. Амбарная ниже устья р. Далдыкан), но вызвало их массовый рост на более удаленных участках (приустьевая зона р. Амбарной).

Перифитон фонового участка р. Далдыкан (см. табл. 1, 2) был представлен видами водорослей, характерными для ненарушенных экосистем северных водоемов [Гецен, 1985; Стенина, 2009]: доминировали диатомовые *Tabellaria flocculosa*, *Achnanthes* sp., *Encyonema ventricosum* (syn. *Cymbella ventricosa*) и цианопрокариота *Chamaesiphon* sp.

Биомасса фитопланктона, практически полностью представленного бентосными формами (см. табл. 3), на этом участке была очень низкой, что отмечалось и ранее в работе [Андреев и др., 2003]. Однако следует отметить существенные различия количественных показателей альгофлоры р. Далдыкан на ст. 2 (фон) и ст. 3 (расположенной ниже впадения загрязненного нефтепродуктами руч. Безымянного). На ст. 3 существенно уменьшалось видовое богатство перифитона, а также на порядок снижалась биомасса как планктона, так и перифитона.

Анализ пигментных показателей также выявил значительные отклонения от нормального пигментного состава пресноводного фитопланктона в руч. Безымянном и на участке р. Далдыкан, ниже впадения ручья. В пигментном фонде сестона этих участков рек многократно преобладают желтые пигменты (каротиноиды), а среди зеленых (хлорофиллов) доминируют дополнительные хлорофиллы *b* и *c*, играющие в составе водорослей второстепенную роль. Такие особенности могут свидетельствовать о непланктонной природе пигментов, поступающих в реку с почвенной взвесью и растительными остатками в результате работ по рекультивации в долине ручья. Хлорофиллы или хлорофиллоподобные вещества, которые могут содержаться в почве [Лодыгин, Безносилов, 2010], вероятно, имеют максимумы поглощения, близкие к таковым для хлорофиллов *b* и *c*. Кроме того, известно, что Хл *b* является одним из вспомогательных пигментов фотосинтеза у высших растений, в том числе мохообразных [Тарчевский, 1977].

Видовой состав перифитона фонового участка р. Амбарной был достаточно разнообразен (см. табл. 1), однако основу биомассы составляли всего два вида – *Spirogyra* sp. (63 %) и *Aulacoseira islandica* (31 %). Как отмечает М. В. Гецен [1985], нитчатые зеленые водоросли исключительно характерны и широко известны среди обрастателей в экосистемах Крайнего Севера. На территории России *Spirogyra* sp. отмечалась исследователями в планктоне рек бассейна оз. Таймыр [Ермолаев и др., 2003], рек Полярного Урала [Ярушина, 2004], а также многих рек Заполярья Восточной Сибири [Габышев, Габышева, 2018]. *Aulacoseira islandica* – холодолюбивый стено-термный вид, очень часто достигающий мас-

сового развития в северных водоемах, однако в основном считающийся представителем пелагиали [Гецен, 1985]. В толще воды на этом участке наряду со *Spirogyra* sp. также доминировали типичные представители диатомового планктона северных рек [Габышев, Габышева, 2018] – *Melosira varians*, *Ulnaria ulna*, *Tabularia tabulata*, *Diatoma elongata*. Ниже впадения р. Далдыкан (ст. 5) в р. Амбарной отмечалось снижение на порядок биомассы перифитона и изменение видовой структуры по сравнению с фоновой ст. 4. Следует отметить появление на этой станции в составе перифитона (причем в числе доминантов) зеленой водоросли *Stigeoclonium tenue* – альфа-мезосапроба, известного своей устойчивостью к органическому загрязнению. Резкое сокращение биомассы фитоперифитона под влиянием загрязнения нефтепродуктами, которые плохо растворимы в воде, но адсорбируются на границах раздела фаз, являющихся местообитанием перифитона, описано в литературе [Davenport, 1982]. При этом видовой состав и биомасса фитопланктона на станциях 4 и 5 существенно не отличались, а пигментный состав фитопланктона в целом был близок к нормальному, что, вероятно, связано с дрейфом перифитонных водорослей, смываемых с субстрата течением реки.

Ниже по течению р. Амбарной (ст. 6) в толще воды наблюдалось массовое развитие диатомовой водоросли *Tabularia tabulata* и зеленой *Spirogyra* sp. Массовое развитие бентосных зеленых нитчатых водорослей на морских мелководьях в зоне нефтяного загрязнения описано в литературе, но причиной этого явления считается гибель консументов (представителей зообентоса и зооперифитона) [Jernelov, 2010]. Стоит подчеркнуть, что в пресноводных арктических экосистемах животные-альгофаги вряд ли способны вызвать значительное снижение биомассы макроводорослей *Spirogyra* sp. Скорее причиной “цветения” воды на этом участке реки стало высвобождение большого количества биогенов при разложении нефтепродуктов и отмерших организмов, а также механической очистке береговой линии, проводившейся выше по течению. Следует отметить появление на этой станции хламидомонад, эвгленовых и криптофитовых водорослей – индикаторов органического загрязнения, в том числе нефтяного.

Так, в планктоне загрязненного нефтепродуктами оз. Тибейто (Большеземельская тундра) также наблюдалось возрастание биомассы водорослей планктона по сравнению с условно чистыми районами и доминирование хламидомонад, хлорококковых, эвгленовых и криптофитовых водорослей [Трифорова, Петрова, 1994]. Об увеличении органической нагрузки в низовье р. Амбарной свидетельствует и возрастание индексов сапробности, рассчитанных по видам планктонных водорослей. В приустьевой зоне (ст. 13) биомасса фитопланктона снизилась, и видовой состав приобрел черты озерного планктона (увеличились биомасса и разнообразие хлорококковых, появились золотистые и динофитовые водоросли), что, возможно, в том числе связано со снижением скорости течения.

К сожалению, литературных данных о состоянии перифитона оз. Пясино в период, предшествовавший разливу топлива, в рецензируемых источниках нами не обнаружено. Однако отмеченные нами структурно-количественные показатели перифитона оз. Пясино в целом характерны для экосистем Крайнего Севера [Гецен, 1985; Стенина, 2009]. Так, в оз. Собачье, которое, как и оз. Пясино, входит в Норило-Пясинскую водную систему и вследствие своего месторасположения практически не подвержено антропогенному воздействию, по результатам исследования 2014 г. [Глуценко, Заделенов, 2015] средняя биомасса перифитона также составила 0,9 г/м² и основной вклад в биомассу вносили диатомовые водоросли.

В нашем исследовании биомасса фитопланктона оз. Пясино составляла 0,3–0,4 мг/л, доминировали по биомассе диатомовые (*Asterionella formosa*, *Diatoma elongata*, *Synedra* spp., мелкие центрические семейства *Stephanodiscaceae*) и золотистые (*Dinobryon divergens*) водоросли. По литературным данным [Андреев и др., 2003] в 1992 г. биомасса фитопланктона озера была 0,08–0,91 мг/л, а основной вклад в биомассу (95–99 %) также вносили диатомовые и золотистые водоросли. Известно, что диатомовые и золотистые – ведущие группы фитопланктона северных водоемов [Гецен, 1985]. Представители этих групп составляли основу биомассы в не подверженных загрязнению озерах п-ова Таймыр [Ермолаев и др., 2003; Глуценко, Заделенов, 2015],

Большеземельской тундры [Трифорова, Петрова, 1994; Стенина, 2009] и Полярного Урала [Ярушина, 2004], причем, как и в оз. Пясино, в составе доминирующих комплексов этих озер часто указывается *Asterionella formosa*, виды рода *Synedra*, одноклеточные центрические диатомовые и виды рода *Dinobryon*.

Фитопланктон р. Пясино изучался в 1968–1970 гг. В. И. Ермолаевым (цит. по: [Гецен, 1985]). В целом фитопланктон был охарактеризован как диатомово-хлорококковый, при этом на участках с быстрым течением в основном развивались формы обрастаний и бентоса (*Ceratoneis arcus*, *Meridion circulare*, *Cyrtopleura solea*, *Didymosphaenia geminata*). По нашим данным, в фитопланктоне р. Пясино также по биомассе преобладали диатомовые, хотя помимо бентосных форм в состав доминирующего комплекса также входили представители планктона – *Asterionella formosa* и *Aulacoseira islandica*, что, вероятно, связано со стоком планктона из оз. Пясино.

Таким образом, существенных изменений в планктоне оз. Пясино и р. Пясино по сравнению с предыдущими исследованиями не обнаружено. В целом, видовой состав и количественные характеристики планктона и перифитона, а также количество и соотношение пигментов фитопланктона оз. Пясино и р. Пясино были характерны для нормально функционирующего пресноводного сообщества олиготрофных вод.

Оценка антропогенного воздействия на альгоценозы оз. Пясино и р. Пясино основывалась на анализе ретроспективных данных. Следует отметить, что вегетационные сезоны разных лет могут отличаться по ряду климатических факторов (таких как средние значения температуры в течение вегетационного периода, количество осадков, уровень воды в реках и озерах и т. д.), что может оказывать существенное влияние на количественные показатели и видовую структуру фитопланктона и перифитона и снижать достоверность наших оценок. В то же время для оценки последствий разлива топлива в реках использовалось сравнение загрязненных участков с близкорасположенными фоновыми (ст. 2, 4 и 12, находящиеся вне зоны загрязнения), поэтому предполагалось, что условия среды на этих участках близки и влияние климатических факторов можно не учитывать.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, согласно нашим данным, непосредственно в местах ниже аварийного разлива нефтепродуктов, в реках Далдыкан и Амбарной, наблюдались классические признаки влияния нефтяного загрязнения на фитопланктон и фитоперифитон, а именно появление жгутиковых водорослей (эвгленовых и криптофитовых), гибель фитоперифитона в местах тяжелого загрязнения нефтепродуктами и массовое развитие водорослей ниже зоны загрязнения [Miller et al., 1978; Davenport, 1982; Jernelov, 2010]. Напротив, в р. Норильская, в оз. Пясино и р. Пясино доминировали диатомовые и золотистые водоросли, как и за много лет до аварийного разлива [Андреев, 2003], что указывает на отсутствие негативного воздействия аварийного разлива нефтепродуктов на экосистему оз. Пясино и р. Пясино.

Работа поддержана хоздоговором № 223-ЕП-2020/07 с Сибирским отделением РАН.

ЛИТЕРАТУРА

- Андреев В. П., Жаковщикова Т. К., Рябова В. Н., Сорokolетова Е. Ф., Шарыгин А. А. Биологический анализ качества вод Норило-Пясинской системы // Водные ресурсы. 2003. Т. 30, № 4. С. 466–472. [Andreev V. P., Zhakovshchikova T. K., Ryabova V. N., Sorokoletova E. F., Sharygin A. A. Biological analysis of water quality in the Noril'sko-Pyasinskaya system // Water Resources. 2003. Vol. 30, N 4. P. 427–433.]
- Барина С. С., Медведева Л. А., Анисимова О. В. Водоросли-индикаторы в оценке качества окружающей среды. М.: ВНИИприроды, 2000. 150 с.
- Бульон В. В. Первичная продукция планктона внутренних водоемов. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1983. 150 с.
- Водоросли. Справочник / под ред. С. П. Вассера. Киев: Наук. думка, 1989. 608 с.
- Габышев В. А., Габышева О. И. Фитопланктон крупных рек Якутии и сопредельных территорий Восточной Сибири. Новосибирск: Изд. АНС “СибАК”, 2018. 414 с.
- Гецен М. В. Водоросли в экосистемах Крайнего Севера (на примере Большеземельской тундры). Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1985. 165 с.
- Глущенко Л. А., Заделенов В. А. Водоросли некоторых водоемов и водооток на территории плато Путорана, 2014 г. // Науч. тр. Федерального государственного бюджетного учреждения “Объединенная дирекция заповедников Таймыра” / отв. ред. Л. А. Колпацников, А. А. Романов. Норильск: АПЕКС, 2015. 272 с.
- ГОСТ 17.1.4.02-90. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла *a*. М.: Изд-во стандартов, 2003.
- Ермолаев В. И., Ремигайло П. А., Габышев В. А. Водоросли планктона водоемов бассейна озера Таймыр // Сиб. экол. журн. 2003. Т. 10, № 4. С. 381–392.
- Лодыгин Е. Д., Безносиков В. А. Состав липидов органического вещества почв // Докл. РАСХН. 2010. № 6. С. 30–32. [Lodygin E. D., Beznosikov V. A. Composition of soil organic matter lipids // Russian Agricultural Sciences. 2010. Vol. 36, N 6. P. 437–440.]
- Макруши А. В. Биологический анализ качества вод / под ред. Г. Г. Винберга. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1974. 60 с.
- Оксиок О. П., Жукинский В. Н., Брагинский Л. П., Линник П. Н., Кузьменко М. И., Кленус В. Г. Комплексная экологическая классификация качества поверхностных вод суши // Гидробиол. журн. 1993. Т. 29, № 4. С. 62–76.
- РД 52.24.309-2011. Организация и проведение режимных наблюдений за состоянием и загрязнением поверхностных вод суши (утв. Росгидрометом 25.10.2011). Электронный ресурс: www.consultant.ru
- Руководство по гидробиологическому мониторингу пресноводных экосистем / под ред. В. А. Абакумова. СПб.: Гидрометеиздат, 1992. 318 с.
- Сиренко Л. А. Определение содержания растительных пигментов в среде как показатель интенсивности развития водорослей // Методы физиолого-биохимического исследования водорослей в гидробиологической практике. Киев: Наук. думка, 1975. С. 48–50.
- Станиславская Е. В. Перифитон и его продукция // Особенности структуры экосистем озер Крайнего Севера (на примере озер Большеземельской тундры). СПб.: Наука. С.-Петербург. отд-ние, 1994. С. 120–127.
- Стенина А. С. Диатомовые водоросли тундровых водоемов в зоне влияния нефтеразведочных буровых (Архангельская область) // Некоторые подходы к организации экологического мониторинга в условиях севера. Сер. “Труды Коми научного центра УрО Российской АН”. Сыктывкар: ФГБУН ФИЦ “Коми научный центр УрО РАН”, 1996. С. 111–124.
- Стенина А. С. Диатомовые водоросли (Bacillariophyta) в озерах востока Большеземельской тундры. Сыктывкар, 2009. 176 с.
- Тарчевский И. А. Основы фотосинтеза. М.: Высш. шк., 1977. 253 с.
- Трифонова И. С. Экология и сукцессия озерного фитопланктона. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1990. 184 с.
- Трифонова И. С., Петрова А. Л. Структура и динамика биомассы фитопланктона // Особенности структуры экосистем озер Крайнего Севера (на примере озер Большеземельской тундры). СПб.: Наука. С.-Петербург. отд-ние, 1994. С. 80–108.
- Ярушина М. И. Водоросли // Биоресурсы водных экосистем Полярного Урала. Екатеринбург: УрО РАН, 2004. С. 18–57.
- Albers P. H. Oil spills and living organisms. Laurel: Texas A&M University, 1992. 16 p.
- Davenport J. Oil and planktonic ecosystems // Philosoph. Trans. of the Royal Society of London. Ser. B, Biol. Sci. 1982. Vol. 297, N 1087. P. 369–384.
- Environment Canada: national guidelines and standards office. Water policy and coordination directorate. Canadian guidance framework for the management of phosphorus in freshwater system. Report N 1–8. Ottawa: National Guidelines and Standards Office Water Policy and Coordination Directorate Environment Canada, 2004. 133 p.
- Jernelov A. The threats from oil spills: now, then, and in the future // Ambio. 2010. Vol. 39, N 5-6. P. 353–366.

- Margalef R. Correlations entre certains caractères synthétiques des populations de phytoplancton // *Hydrobiologia*. 1961. Vol. 18. P. 155–164.
- Miller M. C., Alexander V., Barsdate R. J. The effects of oil spills on phytoplankton in an arctic lake // *Arctic*. 1978. Vol. 31, N 3. P. 192–218.
- Perhar G., Arhonditsis G. B. Aquatic ecosystem dynamics following petroleum hydrocarbon perturbations: A review of the current state of knowledge. // *J. Great Lakes Research*. 2014. Vol. 40, Suppl. 3. P. 56–72.
- Vincent W. F., Laybourn-Parry J. *Polar lakes and rivers: Limnology of Arctic and Antarctic aquatic ecosystems*. Oxford: Oxford University Press, 2008.

Phytoplankton and phytoperiphyton characteristics of Lake Pyasino and its tributaries after accidental fuel spill in 2020

E. S. KRAVCHUK¹, A. V. KOTOVSHCHIKOV², E. A. IVANOVA^{1, 3}

¹*Institute of Biophysics of SB RAS, Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center SB RAS”
660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/50*

²*Institute for Water and Environmental Problems of SB RAS
656038, Barnaul, Molodezhnaya str., 1*

³*Siberian Federal University
660041, Krasnoyarsk, Svobodny ave., 79*

The assessment of species composition, abundance, biomass, and pigment characteristics of phytoperiphyton and phytoplankton of Lake Pyasino, its tributaries (Bezemyannyi stream, the Daldykan, Ambarnaya, and Norilskaya rivers), and the head of the Pyasina river was carried out after man-made accident – diesel fuel spill in vicinity of the city of Norilsk in May 2020. Significant decline of biomass and changes in species composition of phytoperiphyton after water contamination by fuel was revealed near the spillage site only (in the Daldykan river and in the Ambarnaya river downstream the Daldykan mouth). Downstream, in the Ambarnaya mouth zone, as a response to the release of a large amount of nutrients during the decomposition of oil products and dead organisms, as well as mechanical cleaning of the bank line, in the water column there was a massive growth of diatom and green algae (*Tabularia tabulata*, *Spirogyra* sp.) and indicators of organic pollution (Euglenophyceae and Cryptophyceae) appeared. Significant changes in the plankton of Lake Pyasino and river Pyasina in comparison with the data obtained in the second half of the XX century (i. e., long before the accident) were not found. Species composition and quantitative features as well as amount and ratio of pigments characterized phytoplankton and phytoperiphyton of Lake Pyasino and the Pyasina river as normally functioning freshwater community of oligotrophic waters. All this indicates the absence of a negative impact of the accidental oil spillage on the ecosystem of Lake Pyasino and the Pyasina river.

Key words: petroleum pollution, freshwater ecosystems, phytoplankton, phytoperiphyton, photosynthetic pigments, Lake Pyasino, Ambarnaya river.