

Исполнитель:

Некоммерческий фонд общественного
экологического развития
«Без рек как без рук»

Заказчик:

Общероссийская общественная организация
по охране и защите природных ресурсов
«Российское экологическое общество»

Основание подготовки отчета:

Договор № 147 от 24 марта 2021г. Этап №2

Отчет

**Отчет о гидрохимических и экологических исследованиях,
включая исследования на содержание микропластика,
в устьевых участках рек Северная Двина и Онега и
прибрежной территории Двинского залива Белого моря,
проведенных в рамках проекта "Климатическая экспедиция"**

Москва, октябрь 2021

Оглавление

Часть 1	3
Введение.....	4
1. Гидрохимическая характеристика рек Онеги и Северной Двины по данным многолетних исследований	5
2. Исследования современного химического состава воды рек Северная Двина и Онега в рамках «Климатической экспедиции» 2021 года	15
2.1. Материалы и методы проведения исследований химического состава воды в рр. Онега и Северная Двина	15
2.2. Используемое оборудование.....	17
2.3. Результаты гидрохимических измерений.....	18
2.4. Содержание биогенных и органических веществ	20
2.5. Содержание тяжелых металлов	22
Заключение и выводы	27
Список использованной литературы.....	29
Часть 2	30
Введение.....	31
Материалы и методы	33
Результаты и обсуждение.....	35
Заключение	39
Список использованной литературы.....	40

Часть 1

Гидрохимические исследования: Оценка наличия изменений в химическом составе вод рек Северная Двина и Онега по сравнению с многолетними наблюдениями, как возможного показателя климатических изменений, происходящих в бассейне этих рек

*Исполнитель:
к.г.н., н.с. кафедры гидрологии суши
МГУ имени М.В. Ломоносова
Ерина О.Н.*

Введение

Климатические изменения, интенсивность которых значительно возросла в последние десятилетия, приводят к изменению большинства характеристик водных объектов. Вслед за изменениями водного, термического и ледового режима рек изменяется и их гидрохимический режим. Происходящие изменения могут значительным образом сказаться как на показателях водопользования населения, так и привести к трансформации водных экосистем. Таким образом, для понимания интенсивности и масштабов происходящих изменений необходим мониторинг не только физических показателей, но и химического состава воды в реках.

Целью настоящего отчета является характеристика современного химического состава вод рек Северная Двина и Онега по сравнению с многолетними наблюдениями, как возможного показателя климатических изменений, происходящих в бассейне этих рек. Актуальность проведения таких оценок для бассейнов северных рек объясняется тем, что именно в данном регионе ярче всего проявляются климатические изменения, и по данным оценочных докладов группы МГЭИК (IPCC) интенсивность этих изменений будет только нарастать.

Кроме анализа уже имеющихся результатов исследований одной из задач было проведение подробного опробования рек Северная Двина и Онега для определения наиболее репрезентативных точек и получения стартовых значений с целью проведения дальнейших многолетних наблюдений влияния климатических изменений на данные показатели в рассматриваемых реках.

1. Гидрохимическая характеристика рек Онеги и Северной Двины по данным многолетних исследований

Химический состав рек Северной Двины и Онеги характеризуется довольно высокой степенью изученности [1-13]. Основной службой, проводящей мониторинг качества воды рек, является Северное управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (Северное УГМС, которое ведет наблюдение на нескольких десятках постов начиная с середины XX века. При этом Северная Двина является более изученным водотоком по сравнению с Онегой ввиду большей хозяйственной освоенности бассейна.

Характеристика химического состава рек и их уровня загрязненности приводится по результатам обобщения многолетних наблюдений, результаты которых опубликованы в большом количестве различных изданий, включая специальные монографии. Понимание среднемноголетних уровней содержания химических веществ необходимо для оценки уровня уже произошедших изменений, в том числе носящих климатический характер.

Основные выводы по гидрохимическому составу вод бассейна р.Онеги на основании многолетних наблюдений можно сформулировать следующим образом:

1. Кислородный режим во всех рассматриваемых водных объектах благоприятный (8,6-9,6 мг/л);
2. Минеральный состав речных вод гидрокарбонатно-кальциевый;
3. Минерализация воды р. Онега: минимальная – в период половодья (65-85 мг/л), максимальная – в период летней (193-205 мг/л) и особенно зимней межени (280-430 мг/л);
4. Летом в Онеге вода мягкая, весной и во время дождевых паводков преимущественно очень мягкая, зимой умеренно жесткая. Среднее значение общей жесткости колеблется в диапазоне 2,0-4,8 мг-экв/л.;
5. Содержание легкоокисляемых органических веществ (по БПК₅) максимально в среднем течении Онеги (2,10 мгО₂/л), в верховьях – 1,88 мгО₂/л, в устьевой области – 1,31 мгО₂/л. В р. Волошка (п. Волошка) содержание органики увеличивается до 3,5 мгО₂/л, р. Кодина (р.п. Кодина) – до 1,7 мгО₂/л. В озерах максимальные концентрации органических веществ отмечены в оз. Лача (2,05 мгО₂/л), минимальные – оз. Лекшм-озеро (0,95 мгО₂/л);
6. Бихроматная окисляемость (ХПК_{бихр}) в речной воде находится в пределах 40-58 мгО/л. Для озер значения ХПК_{бихр} составляют примерно 17,5 мгО/л (оз. Лекшм-озеро) и 54,5 мгО/л (оз. Лача);
7. Содержание биогенных веществ (по группе азота и фосфора) за последние 10 лет стабильно не превышало предельно допустимых концентраций для водоемов рыбохозяйственного и водохозяйственного назначения. Стоит отметить лишь, что в 2005 г. в среднем течении Онеги наблюдалось превышение норматива аммонийным азотом в 5

раз и ниже п. Волошка (р. Волошка) в 3 раза, что связано со сбросом неочищенных сточных вод ЦБК №5. В 80-90-е гг. XX века вследствие сброса неочищенных сточных вод в водные объекты бассейна Онеги, концентрации соединений азота превышали ПДК в несколько раз;

8. В бассейне Онеги отмечены повышенные концентрации металлов: железа общего (0,24-0,45 мг/л), меди (2,0-5,7 мкг/л), цинка (21-38 мкг/л). Также в среднем течении и устьевой области Онеги зафиксированы превышения по марганцу (80-110 мкг/л) и алюминию (50-90 мкг/л);

9. Содержание продуктов целлюлозно-бумажной промышленности за последние 30 лет значительно снизилось и соответствует рыбохозяйственным ПДК, что связано с приостановкой деятельности ЦБК на реках Волошка и Кодина. Средние концентрации лигносульфонатов составили 1,5 мг/л в р. Волошка и 1,6 мг/л в р. Кодина;

10. Во всех водных объектах региона превышение по хлорорганическим пестицидам не выявлено. Химические реагенты присутствовали в поверхностных водах в следовых количествах.

Оценка качества воды поверхностных водных объектов позволяет сделать следующие выводы:

- Качество вод на всех рассматриваемых РВХУ бассейна по ряду веществ (железо общее, медь, цинк, марганец, алюминий, легкоокисляемые органические веществ (по БПК₅)) не соответствует рыбохозяйственным нормативам;

- Повышенное содержание соединений железа общего, меди, цинка, БПК₅ и ХПК_{бихр} обусловлено, скорее всего, природным фоном за счет внутриводоемных процессов и разложения органических гуминовых веществ;

- В воде р. Волошка отмечено повышенное содержание сульфатов, карбонатов и ионов кальция, что связано с наличием подстилающих осадочных пород, представленными известняками, гипсами, доломитами;

- В среднем течении Онеги в период 2006-2009 гг. отмечены стабильно повышенные концентрации марганца и алюминия;

- В среднем и нижнем течении Онеги отмечается несоответствие водохозяйственным нормативам в отношении таких веществ как ХПК_{бихр}, железо и марганец, а воде рек Волошки и Кодиной – в отношении лигносульфонатов.

- В среднем течении Онеги отмечается несоответствие нормативам для водопоя животных в отношении нефтепродуктов;

- На всех водных объектах бассейна Онеги отмечено нарушение рекреационных нормативов в отношении трудноокисляемых органических веществ (по ХПК_{бихр});

- В целом, качество вод водных объектов позволяет использовать ее для орошения сельскохозяйственных культур и поения животных.

Стоит отметить, что формирование химического состава Онеги происходит под влиянием притоков, имеющих несколько различных химический состав. В верховьях и среднем течении Онеги основным фактором, влияющим на химический состав и минерализацию, по-видимому, является наличие трещинно-карстовых и болотных вод. В нижнем течении заметное влияние оказывают подпорные воды Онежской губы, которые значительно увеличивают общую минерализацию речных вод.

Ретроспективный и современный гидрохимический анализ и диагностика качества воды водных объектов бассейна Онеги проводились за периоды 1977-1981 гг., 1981-1985 гг., 1993-1997 гг., 1999-2010 гг. представлена в таблицах.

Таблица 1.1. Среднеголетние, максимальные и расчетные 75% концентрации загрязняющих веществ в пунктах контроля качества вод бассейна р.Северной Двины

Река, пункт контроля	Характеристика	рН	Кислород	Взвешенные вещества	Хлориды	Сульфаты	Сумма ионов	Натрий	Окисл. бихр.	БПК ₅	аммоний-ион	нитриты	нитраты	Фосфаты	Фосфор общий	Железо общее	Медь	Цинк	Фенолы	Нефтепродукты	СПАВ	Формальдегид	Метанол	Лигносультфонаты
			МГ/Л	МГ/Л	МГ/Л	МГ/Л	МГ/Л	МГ/Л	МГ/Л	МГ/Л	МГ/Л	МГ/Л	МГ/Л	МГ/Л	МГ/Л	МГ/Л	МГ/Л	МГ/Л	МГ/Л	МГ/Л	МГ/Л	МГ/Л	МГ/Л	МГ/Л
р.Северная Двина - г.Великий Устюг	среднее	7	8,3	13,2	3,8	27,7	161	5,9	44,7	2,3	0,20	0,026	0,90	0,01	0,04	0,5	12,9	18		0,05	0,01			0,4
	P=75%	7	8,9	12,3	4,8	39,8	224	7,7	53,3	3,4	0,25	0,036	0,75	0,02	0,06	0,59	15,5	22		0,05	0,01			1
	макс.	8	12,2	39,3	10,8	81,2	411	14,8	59,1	4,2	0,44	0,151	3,77	0,05	0,06	0,77	20,9	28		0,19	0,01			1
р.Северная Двина - г.Красавино, 1 км выше города	среднее	7	8	7	5	32,2	197	7,6	42,4	2,2	0,16	0,062	1,31	0,02	0,05	0,56	11,3	17		0,05	0,01			0,4
	P=75%	8	7,3	5,4	5,4	32,3	231	8,8	46,7	2,8	0,21	0,033	0,80	0,03	0,06	0,57	11,4	19		0,04	0,01			1
	макс.	8	13	21,3	10	71,3	393	15,2	51,2	3,7	0,31	0,207	3,81	0,03	0,08	0,88	21,2	23		0,11	0,01			1
р.Северная Двина - г.Красавино, 3,5 км ниже города	среднее	7	7,5	11,8	4	26,7	163	6,1	44,2	2,5	0,17	0,036	0,82	0,02	0,04	0,5	12,2	20		0,08	0,01			0,3
	P=75%	8	8,9	8,4	5,7	37,5	225	8,1	51,0	3,5	0,22	0,026	0,62	0,02	0,05	0,54	13,4	22		0,11	0,01			0,5
	макс.	8	9,2	51,8	11,2	76	417	15,8	58,6	4,6	0,52	0,266	3,46	0,05	0,07	0,82	18,9	28		0,21	0,02			1
р.Северная Двина - г.Котлас	среднее	8	7,3	23,6	5,4	18,1	184	7,8	39,9	1,8	0,06	0,016	0,84	0,02	0,05	0,43	6,9	26		0,03				1,6
	P=75%	8	7,9	25,6	5,7	16	238	10,0	47,7	2,4	0,08	0,016	0,40	0,02	0,05	0,46	7	22		0,02				1,8
	макс.	8	8,8	42,8	10,3	41,2	338	15,7	52,5	2,5	0,09	0,036	3,32	0,05	0,1	0,66	14,3	58		0,10				2,7
р.Северная Двина - д.Телегово	среднее	8	8,4	28,4	6,2	16,7	264	13,1	47,0	2,4	0,14	0,016	0,43	0,05	0,08	1,45	5,1	33		0,05				1,4
	P=75%	8	9	32,2	7,9	16,5	267	11,9	54,7		0,13	0,016	0,31	0,06	0,09	2,09	5,1	31		0,05				1,2
	макс.	8	12	60,2	10,1	27,5	498	31,5	55,9	3,0	0,31	0,030	1,37	0,09	0,12	2,86	6,6	54		0,08				3,5
р.Северная Двина - д.Абрамково	среднее	8	8,1	10	6,5	38,2	213	9,7	40,1	3,1	0,07	0,007	0,54	0,03	0,05	0,43	2,1	60		0,02				1,9
	P=75%	8	8,8	13,6	8,1	49,5	251	11,9	47,7	3,6	0,08	0,007	0,18	0,03	0,05	0,53	2	63		0,03				2
	макс.	8	10,6	16,2	10,3	55	327	17,5	51,6	3,9	0,13	0,013	1,82	0,03	0,05	0,54	2,5	72		0,03				2,2
р.Северная Двина - д.Звоз	среднее	8	8,5	12	6,8	39,1	216	8,9	40,8	1,4	0,08	0,007	0,39	0,02	0,05	0,54	1,4	39		0,02				1,5
	P=75%	8	9,4	11,2	8,2	42,1	256	12,5	49,3	1,8	0,10	0,007	0,18	0,02	0,05	0,61	1,2	43		0,02				1,5
	макс.	8	11,5	29,8	10	68,7	341	15,0	56,8	1,8	0,13	0,013	1,33	0,03	0,05	0,68	2,5	53		0,04				2,2
р.Северная Двина - с.Усть-Пинега	среднее	8	7,5	5,3	6,6	41,2	209	8,3	37,1	1,1	0,06	0,007	0,58	0,02	0,03	0,41	3,5	23	0	0,01		0	0,1	1,7
	P=75%	8	8,9	6,2	9	59,8	319	13,2	47,6	1,4	0,07	0,007	1,02	0,02	0,04	0,49	5	26	0	0,02		0	0,1	1,9
	макс.	8	11,2	23	20,1	70,5	342	17,0	56,8	2,5	0,19	0,010	1,86	0,04	0,06	0,62	12,8	64	0,01	0,05		0,1	0,2	2,4
р.Северная Двина - г.Новодвинск 1,5 км выше города	среднее	8	8,2	11,1	7	42,2	199	8,2	40,4	1,7	0,07	0,007	0,62	0,02	0,04	0,47	3,9	22	0	0,02		0	0,1	1,6
	P=75%	8	9,4	15,6	9,7	49,5	243	10,0	51,2	2,4	0,08	0,007	1,11	0,03	0,04	0,48	3,9	20	0	0,02		0	0,1	1,9
	макс.	8	10,6	41,6	11,8	73,3	339	15,0	54,0	2,9	0,17	0,020	1,64	0,03	0,06	0,97	10,6	39	0,01	0,06		0	0,2	2,2
р.Северная Двина - г.Новодвинск	среднее	8	8,6	11,8	5,8	37,1	176	7,0	42,5	1,4	0,09	0,007	0,28	0,02	0,04	0,39	4,5	18,0	0	0,01		0	0,1	1,8
	P=75%	8	9,6	14,7	8,7	50,4	246	9,1	51,0	1,5	0,08	0,007	0,32	0,02	0,05	0,51	2,7	19,5	0	0,02		0	0,1	2

Река, пункт контроля	Характеристика	рН	Кислород	Взвешенные вещества	Хлориды	Сульфаты	Сумма ионов	Натрий	Окисл. бихр.	БПК ₅	аммоний-ион	нитриты	нитраты	Фосфаты	Фосфор общий	Железо общее	Медь	Цинк	Фенолы	Нефтепродукты	СПАВ	Формальдегид	Метанол	Лигносультфонаты
			Мг/л	Мг/л	Мг/л	Мг/л	Мг/л	Мг/л	Мг/л	Мг/л	Мг/л	Мг/л	Мг/л	Мг/л	Мг/л	Мг/л	Мг/л	Мг/л	Мг/л	Мг/л	Мг/л	Мг/л	Мг/л	Мг/л
1 км ниже сброса сточных вод АЦБК	макс.	8	11,5	47,1	13,6	76	352	20,0	55,3	2,6	0,65	0,020	1,73	0,05	0,19	0,70	21,8	49,7	0,01	0,07		0	0,3	3,5
р.Северная Двина - г.Архангельск, ж/д мост	среднее	8	8,1	8,1	7,6	43,9	205	9,0	43,3	1,4	0,09	0,010	0,59	0,02	0,04	0,44	4,2	22	0,01	0,03	0	0	0,1	3,1
	P=75%	8	9,2	10,3	11,6	58,2	276	12,0	49,3	1,6	0,12	0,010	1,00	0,02	0,04	0,55	4,8	28	0	0,04	0	0	0,1	2,1
	макс.	8	12	37,6	17,5	110	420	22,2	228,5	3,1	0,21	0,020	2,04	0,10	0,12	0,71	16,3	59	0,06	0,32	0,01	0,1	0,3	98
Никольский рукав - с.Рикасиха	среднее	8	8	7,3	7,9	41	195	9,1	40,0	1,5	0,08	0,010	0,53	0,02	0,04	0,46	3,3	20	0	0,02		0	0	1,9
	P=75%	8	8,8	7	11	59,6	279	14,5	47,1	1,5	0,10	0,010	0,71	0,02	0,05	0,53	3,3	21		0,04		0	0,1	2,2
	макс.	8	12,1	39	17,2	86,1	354	18,2	62,6	6,5	0,15	0,020	2,04	0,04	0,07	0,8	11,6	51	0	0,10		0	0,2	2,6
Корабельный рукав - г.Архангельск	среднее	8	8,2	8,6	7	42,5	203	8,7	36,9	1,6	0,07	0,007	0,59	0,02	0,04	0,42	2,2	24		0,02		0	0,1	1,6
	P=75%	8	9,7	7,1	8,8	50,4	227	9,5	45,3	2,3	0,09	0,010	0,93	0,02	0,04	0,45	2,5	19		0,03		0	0,1	1,8
	макс.	8	11,3	34,2	14,9	77,9	355	15,7	57,3	3,1	0,13	0,016	1,86	0,03	0,06	0,6	4,9	63		0,06		0	0,2	2
Мурманский рукав - с.Красное	среднее	8	7,7	7,4	8,9	42,3	216	10,0	39,7	1,2	0,04	0,007	0,41	0,02	0,04	0,37	3,5	18		0,01				
	P=75%	8	7,7	5,2	9,1	39,4	236	10,0	43,6	1,2	0,04	0,007	0,35	0,02	0,04	0,42	4,3	18		0,02				
	макс.	8	11	20,4	24,8	77,9	380	22,8	49,5	2,5	0,05	0,010	1,37	0,03	0,05	0,51	7,3	45		0,03				
протока Маймакса - г.Архангельск	среднее	8	7,7	6,3	380	101	847	189	40,2	1,2	0,12	0,007	0,36	0,03	0,05	0,47	2,3	23	0	0,02	0,01	0	0,1	1,9
	P=75%	8	9	8,5	208	113	714	130	49,2	1,5	0,09	0,010	0,31	0,03	0,05	0,54	2,7	24	0	0,02	0,01	0	0,1	2,1
	макс.	8	11,3	33,8	4871	760	8509	2300	81,6	3,6	1,03	0,030	1,73	0,28	0,31	1,55	7	73	0,01	0,14	0,05	0	0,2	2,9
протока Кузнечиха - г.Архангельск, 3 км выше впадения р.Юрас	среднее	8	7,9	4,8	7,7	44,2	207	9,4	38,5	1,3	0,09	0,007	0,53	0,02	0,04	0,42	4,5	16	0	0,02	0,01	0	0,1	1,8
	P=75%	8	9,6	6,6	10,2	68,7	292	13,2	47,7	1,5	0,10	0,010	0,97	0,02	0,05	0,54	4,8	24	0	0,03		0	0,1	2
	макс.	8	10,4	18,4	18,7	76	348	28,6	53,8	2,2	0,36	0,016	1,82	0,04	0,07	0,76	12,1	35	0,01	0,07	0,01	0	0,3	2,6
протока Кузнечиха - г.Архангельск, 1 км ниже сброса сточных вод лесозавода №29	среднее	8	7,9	10,2	476	119	1005	233	46,7	1,4	0,13	0,013	0,51	0,03	0,06	0,53	5,4	22	0	0,02	0,01	0	0	2,2
	P=75%	8	8,4	12,9	752	187	1580	366	52,1	1,7	0,18	0,016	0,84	0,03	0,06	0,59	7	26	0	0,03	0,02	0	0,1	2,8
	макс.	8	10,8	29,9	3156	566	5624	1400	99,5	4,9	0,3	0,04	2,04	0,06	0,08	0,82	15,1	60	0,01	0,1	0,06	0	0,2	3,7
р.Юрас - г.Архангельск	среднее	8	7,4	6,2	25	45,4	227	19,8	56,0	1,9	0,61	0,033	1,28	0,08	0,11	0,89	4,5	25	0,01	0,02	0,03	0	0,1	2,1
	P=75%	8	7,9	7,3	22	55	269	16,2	73,8	3,0	0,68	0,049	1,46	0,08	0,11	0,94	4,1	22	0	0,03	0,02	0	0,1	2,5
	макс.	8	10	18,6	48,6	77,9	391	34,2	88,4	4,1	2,04	0,079	6,78	0,17	0,21	1,48	12,4	45	0,01	0,05	0,06	0	0,2	2,8

Таблица 1.2. Ретроспективное гидрохимическое состояние водных объектов бассейна Онеги

Код РВХУ, водный объект, створ	Годы наблюдений	Показатели качества																
		Кислород, мг/л	pH	БПК ₅ , мгО ₂ /л	ХПК _{бихр} , мгО/л	Фенолы, мг/л	Нефтепродукты, мг/л	Аммонийный азот, мгN/л	Нитритный азот, мгN/л	Нитратный азот, мгN/л	Мин. фосфор, мгP/л	Сульфаты, мг/л	Минерализация, мг/л	Лигносulfонаты, мг/л	СПАВ, мг/л	Железо, мг/л	Медь, мг/л	Цинк, мг/л
Река Онега г. Каргополь	1977-1981	>8,0	6,20-8,45	0,05-5,43	9,3-70,4	0,002-0,007	0,00-1,29	0,000-1,540	0-0,009	0,0-0,43	0,0-0,072	43,1	54		0,00-0,07	0,00-4,65		
	1981-1985	9,5		3,8		0,002	0,13	0,540	0,002			35,6						
	1993-1997			2,0-4,0											0,10-0,70	0,002-0,042	0,010-0,050	
	1999-2010	7,6-10,4	7,29-7,78	1,2-3,7	34,0-50,9		0,01-0,04	0,044-0,145	0-0,009	0,063-0,185		22,3-37,5	153-248			0,16-0,30	0,0015-0,0035	0,018-0,036
Река Онега пгг. Североонежск	1977-1981	>8,0	6,20-8,45	0,05-5,43	9,3-70,4	0,004-0,010	0,00-1,65	0,000-1,540	0-0,009	0,0-0,43	0,0-0,028	12,8	54-290		0,00-0,07	0,00-4,65		
	1981-1985	9,5		3,8		0,002	0,13	0,540	0,0020			35,6						
	1993-1997	>8,0		2,0-4,0											0,10-0,70	0,002-0,042	0,010-0,050	
	1999-2010	7,7-10,0	7,25-7,76	1,2-2,0	34,4-58,2		0,02-0,17	0,053-2,128	0,0005-0,0075	0,073-0,198		34,0-56,1	204-269			0,23-0,68	0,0007-0,0082	0,013-0,038
Река Онега с. Порог	1977-1981	5,5	6,20-8,45	0,05-5,43	9,3-70,4	0,004-0,010	0,00-1,40	0,000-1,540	0-0,009	0,0-0,43	0,42	30,4	290-407		0,00-0,07	0,00-4,65	0,0006-0,010	
	1981-1985	9,5		3,8		0,002	0,13	0,540	0,0020			35,6						
	1993-1997	>8,0		2,0-4,0											0,10-0,70	0,002-0,042	0,010-0,050	

Таблица 1.3. Диагностика качества воды водных объектов бассейна р. Онега (1999-2010 гг.)

Река, створ, ВХУ	O ₂ , мг/л	Взвешенные в-ва, мг/л	БПК ₅ , мгO ₂ /л	ХПК _{бихр} , мгO/л	Нефтепродукты, мг/л	Сульфаты, мг/л	Хлориды, мг/л	Аммоний. азот, мгN/л	Нитрит. азот, мгN/л	Нитрат. азот, мгN/л	Фосфор фосфа-тов. мгP/л	Лигносулфонаты, мг/л	Железо общее, мг/л	Медь, мг/л	Цинк, мг/л	Марганец, мг/л	Алюминий, мг/л	
																		1999-2010 гг.
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>17</i>	<i>18</i>	
<i>ПДК рыбхоз</i>	>6	C _ф + 0.25	2.0*	-	0.05	100.0	300.0	0.4	0.02	9.0	0.2	2.0**	0.1	0.001	0.01	0.01	0.04	
<i>ПДК водхоз,</i>	>4	C _ф + 0.25	2.0	15.0	0.3	500.0	350.0	1.5	-	-	3.5	1.0	0.3	1.0	1.0	0.1	0.2	
<i>р. Онега, г. Каргополь 03.01.00.001.02</i>	выше	<u>8.9</u> 10.2	<u>6.0</u> 8.6	<u>1.88</u> 2.58	<u>41.0</u> 46.7	<u>0.05</u> 0.10	<u>30.2</u> 38.4	<u>2.3</u> 7.9	<u>0.102</u> 0.230	<u>0.0015</u> 0.0024	<u>0.144</u> 0.243	<u>0.005</u> 0.011	Н.Д.	<u>0.24</u> 0.29	<u>0.0022</u> 0.0031	<u>0.023</u> 0.038	Н.Д.	Н.Д.
	ниже	<u>8.6</u> 10.4	<u>6.1</u> 9.7	<u>2.38</u> 3.74	<u>43.0</u> 50.9	<u>0.03</u> 0.04	<u>31.0</u> 37.5	<u>2.0</u> 2.6	<u>0.089</u> 0.145	<u>0.002</u> 0.009	<u>0.116</u> 0.185	<u>0.008</u> 0.035	Н.Д.	<u>0.24</u> 0.30	<u>0.0023</u> 0.0035	<u>0.023</u> 0.036	Н.Д.	Н.Д.
<i>р. Онега, д. Череповская 03.01.00.001.04</i>	<u>9.2</u> 10.9	<u>5.2</u> 11.0	<u>2.10</u> 3.63	<u>46.9</u> 62.2	<u>0.05</u> 0.16	<u>26.3</u> 37.6	<u>2.1</u> 2.5	<u>0.390</u> 1.654	<u>0.002</u> 0.009	<u>0.155</u> 0.228	<u>0.006</u> 0.010	Н.Д.	<u>0.27</u> 0.37	<u>0.0027</u> 0.0055	<u>0.038</u> 0.055	Н.Д.	Н.Д.	
<i>р. Онега, пгт. Североонежск 03.01.00.001.04</i>	<u>9.1</u> 10.0	<u>8.5</u> 27.4	<u>1.68</u> 2.03	<u>43.0</u> 58.2	<u>0.07</u> 0.17	<u>43.1</u> 56.1	<u>3.6</u> 4.7	<u>0.329</u> 2.128	<u>0.0018</u> 0.0075	<u>0.130</u> 0.200	<u>0.016</u> 0.033	Н.Д.	<u>0.34</u> 0.68	<u>0.0027</u> 0.0082	<u>0.022</u> 0.038	<u>0.08</u> 0.16	<u>0.05</u> 0.10	
<i>р. Кена, д. Коровий двор 03.01.00.001.04</i>	<u>8.8</u> 9.6	<u>3.1</u> 4.8	<u>1.00</u> 1.36	<u>40.2</u> 46.4	<u>0.04</u> 0.07	<u>5.6</u> 8.6	<u>3.5</u> 7.9	<u>0.059</u> 0.098	<u>0.0005</u> 0.0013	<u>0.046</u> 0.078	<u>0.006</u> 0.011	Н.Д.	<u>0.34</u> 0.48	<u>0.0020</u> 0.0098	<u>0.028</u> 0.037	Н.Д.	Н.Д.	
<i>р. Онега, с. Порог 03.01.00.001.05</i>	<u>8.7</u> 9.6	<u>5.7</u> 9.1	<u>1.31</u> 1.75	<u>42.1</u> 53.4	<u>0.04</u> 0.07	<u>35.0</u> 51.0	<u>5.0</u> 6.6	<u>0.069</u> 0.170	<u>0.0011</u> 0.0023	<u>0.122</u> 0.180	<u>0.010</u> 0.016	Н.Д.	<u>0.40</u> 0.55	<u>0.0024</u> 0.0035	<u>0.021</u> 0.030	<u>0.11</u> 0.27	<u>0.09</u> 0.12	

Примечание:

Цвет ячейки показывает нарушение соответствующего норматива; Н.Д. - нет данных;

Значения показателей качества воды: в числителе - средневзвешенные значения; в знаменателе - максимальные значения

* Приведена ПДК, пересчитанная из ПДК для БПК_{полн} по формуле БПК_{полн} = 1,43 БПК₅. ПДК для БПК_{полн} принята согласно Приказу Росрыболовства №695 от 04.08.2009 г.

** Приведена ПДК для лигносульфонатов натрия и кальция согласно Приказу Минсельхоза №552 от 13.12.2016 г.

Качество поверхностных вод бассейна Северной Двины

По результатам анализа многолетних наблюдений химического состава воды и качества воды в реках бассейна Северной Двины можно сделать следующие выводы:

1) От истока к устью Северной Двины в целом наблюдается постепенное увеличение общей минерализации речных вод. В бассейне Северной Двины экстремальные значения модуля выноса суммы главных ионов связаны прежде всего с повышенной (340 мг/л) и сравнительно низкой (92.5 мг/л) минерализацией речных вод. Средняя минерализация в бассейне Северной Двины составляет 203 мг/л.

2) Повышенная минерализация речных вод обусловлена прежде всего вкладом основных анионов - сульфатов и гидрокарбонатов. Максимальный модуль выноса сульфатов происходит с водосбора р. Выми, ~50 кг/год с км², что составляет ~43% общей суммы ионов в речных водах в замыкающем створе этого притока Северной Двины. Это свидетельствует о загрязнении вод сульфатами как ведущего компонента сточных вод промпредприятий. Превышение ПДК по максимальной концентрации сульфатов в водах бассейна Северной Двины наблюдается в интервале 1-4.

3) Минимальный вынос сульфатов установлен на реках Сысола и Пинега и составляет 1.7 и 2.9 кг/год с 1 км² соответственно. Кроме того, выделяется обширный участок с модулями выноса сульфатов 8.5-10.5 кг/год с 1 км², охватывающий бассейны Вычегды, Лузы и среднее течение Сухоны. В нижнем течении Северной Двины количество выносимых за год сульфатов достигает 15.5, а в бассейне Пинеги - 20.5 кг/год с 1 км².

4) Содержание гидрокарбонатов в речных водах Северной Двины колеблется от 60 мг/л на р. Сысоле до 142 мг/л в бассейне р. Ваги. В связи с этим диапазон величин модуля их выноса составляет 15-40 кг/год с 1 км².

5) Среднее содержание хлоридов в речных водах Северной Двины колеблется от 2-2.5 мг/л (реки Пинега, Сысола и Вычегда) до 10.4 мг/л (р. Северная Двина) с максимальными значениями до 300 мг/л.

6) Повышенное содержание хлоридов (2.0-2.5 кг год/км²) прослеживается в речной воде левых притоков Северной Двины - реках Емца, Вага, а также в верховьях р. Сухоны. Это обусловлено тем, что хлориды также служат одним из показателей степени загрязнения речных вод стоками различных производств, прежде всего ЦБК. По аналогии с сульфатами превышение ПДК по максимальным концентрациям хлоридов в речных водах составляет в отдельных случаях 1-1.5, что может быть связано с аварийными или залповыми выбросами сточных вод в реки. Наименьшие показатели модуля выноса хлоридов в бассейне Северной Двины - 0.4-1.0 кг/год с 1 км² - характерны в основном для верховьев рек Вымь, Вычегда и Сысола.

7) Качество воды Северной Двины обусловлено высоким содержанием ряда ЗВ, концентрации которых часто превышают ПДК в несколько раз. Среди ЗВ на различных участках реки в >50% случаев выделяются соединения железа, меди, цинка, ХПК с превышением ПДК, эпизодически фенолы, а в последние годы - соединения марганца и алюминия.

8) Ион аммония NH_4 имеет повышенную концентрацию в верхнем течении рек, что, возможно, указывает на загрязнение данного участка реки бытовыми стоками. Кроме того, наиболее сложная обстановка по содержанию соединений азота сложилась в верхнем течении Сухоны и Лузы.

9) В бассейне Северной Двины содержание органических веществ за многолетний период высокое и для легко окисляемой органики меняется от 0.10 до 64.0 мг/л.

10) Содержание нефтепродуктов в речных водах бассейна колеблется от нулевых значений и ниже предела обнаружения до 1.80 мг/л.

11) Практически для всех изучаемых рек или их участков в бассейне Северной Двины наблюдается превышение ПДК по легко- и трудно окисляемым органическим веществам, а по нефтепродуктам в поверхностных водах бассейна превышение фиксируется только по максимальным концентрациям.

12) Наиболее распространенные загрязняющие вещества в бассейне Северной Двины - нефтепродукты, ВВ, сульфаты, хлориды, фенолы, легко окисляемая органика по БПК₅, лигносульфонаты, соединения железа, меди, алюминия, в отдельных случаях - аммонийный и нитритный азот, формальдегид, метанол.

13) Наибольший приток растворенных химических ЗВ наблюдается в нижнем участке реки. В устьевую область поступают фенолы, лигносульфонаты, соединения меди и цинка в количествах, превышающих норму как по максимальным, так и по среднемноголетним значениям.

14) В среднем за многолетний период в притоке ЗВ есть тенденция увеличения максимальных концентраций соединений железа вниз по течению реки и уменьшения - нефтепродуктов и соединений цинка на участке от д. Абрамково (528 км от устья) до ст. Усть-Пинега (137 км от устья).

15) Кратность превышения ПДК среднемноголетних значений по соединениям меди, железа и цинка в бассейне реки не превышает 2-5 раз. При этом по нефтепродуктам и соединениям нитритного азота среднемноголетние значения на отдельных участках ниже допустимых ПДК.

16) При оценке распределения УКИЗВ в бассейне Северной Двины обнаружены существенные изменения качества вод за последние годы, отражающие улучшения качества

воды: створы наблюдений, вода в которых в 1990-1999 гг характеризовалась как «грязная», по данным обобщения данных 2006-2015 гг. стали характеризоваться как «загрязненные» и «очень загрязненные», то есть произошло повышения класса качества воды от четвертого к третьему.

Общая схема качества поверхностных вод основных рек бассейна р.Северной Двины представлена на рис.1.1.

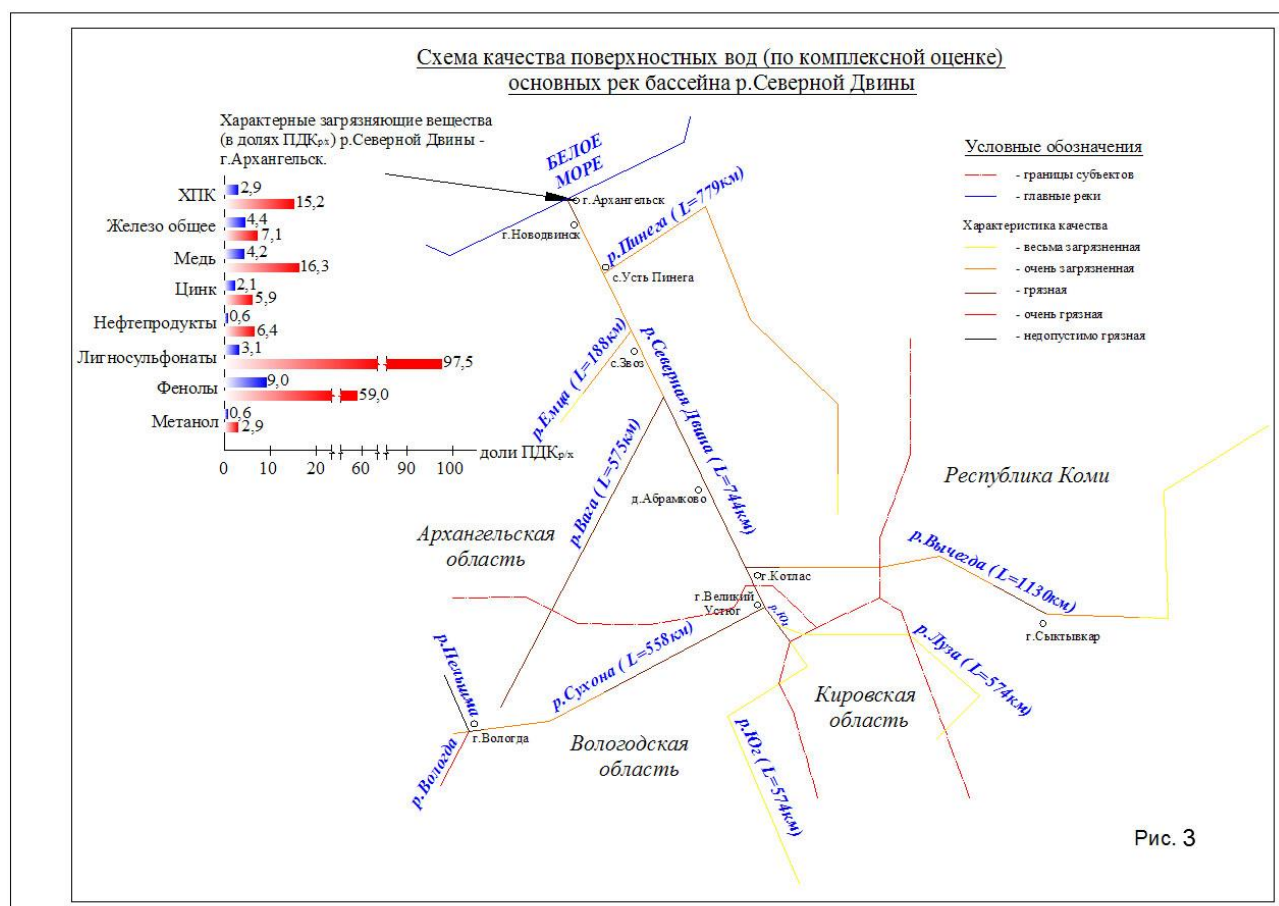


Рис. 1.1. Общая схема качества поверхностных вод основных рек бассейна р.Северной Двины

2. Исследования современного химического состава воды рек Северная Двина и Онега в рамках «Климатической экспедиции» 2021 года

2.1. Материалы и методы проведения исследований химического состава воды в рр. Онега и Северная Двина

В августе 2021 года были проведены подробные полевые и лабораторные исследования в бассейнах рр. Северной Двины и Онеги, направленные на выявления современных особенностей формирования химического состава воды рек. Для этого за период с 17 до 22 августа 2021 г. было 56 проб воды, координаты отбора приведены в таблице 2.1, а схема станций – на рис.2.1.

Отбор производился с плавательных средств, за исключением нескольких точек, где их использование было невозможным – там отбор осуществлялся с берега с помощью специального пробоотборника. Все пробы отбирались в несколько емкостей: с подкислением для последующего элементного анализа по более чем 70 показателям, для контроля биогенных веществ в день отбора с помощью передвижной лаборатории. Дополнительно отбиралась резервная проба для хранения в течение 6 месяцев. Одновременно с отбором проб с помощью специализированных зондов осуществлялись замеры основных гидрохимических показателей – pH, температуры, соледержания и содержания растворенного кислорода.

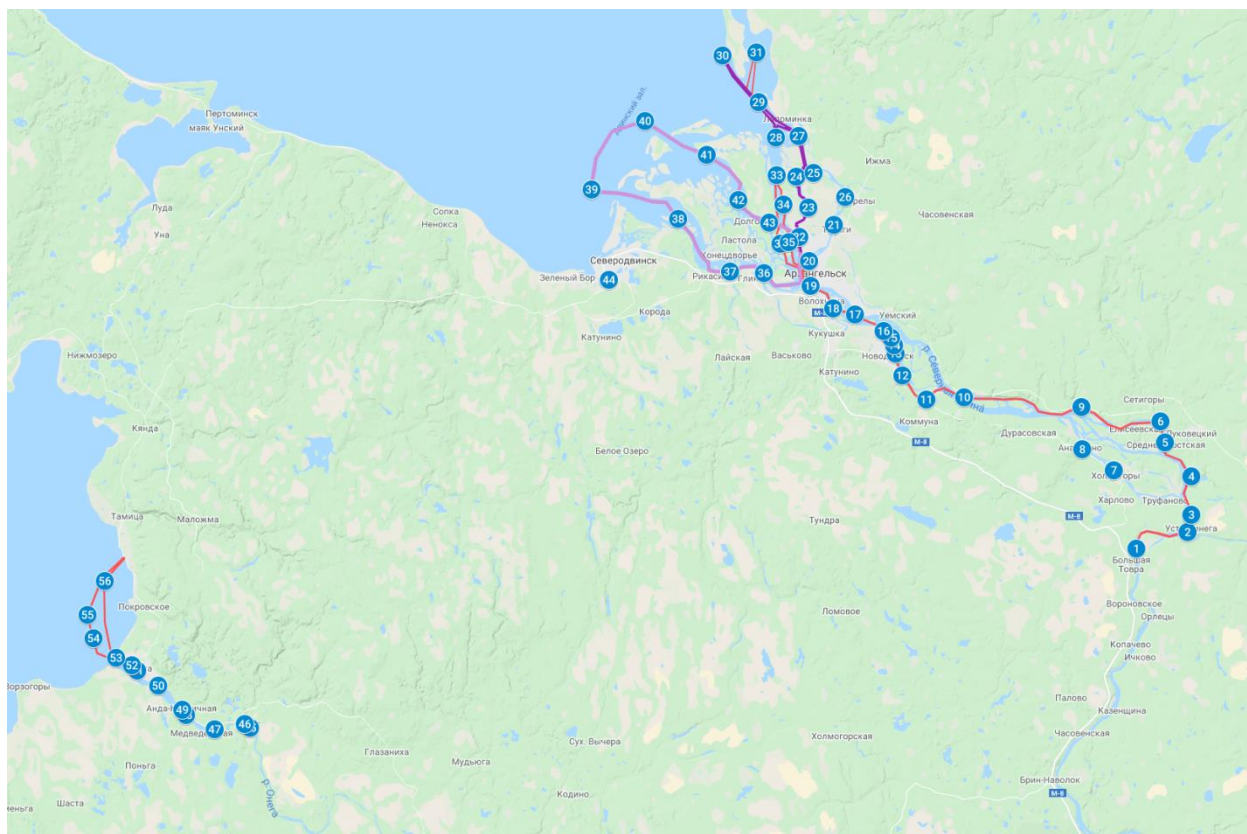


Рис.2.1. Схема отбора проб воды в бассейнах рр.Онега и Северная Двина в рамках проведения «Климатической экспедиции» 17-22.08.2021 г

Таблица 2.1. Ведомость и описание отобранных проб воды в рр.Онега и Северная Двина в рамках проведения «Климатической экспедиции» 17-22.08.2021 г

№	Описание	Координаты отбора	Дата
1	Проба 1 фон выше Пинеги	41.7212526, 64.1107485	17.08.21
2	Проба 2 ниже впадения р. Пинега	41.9061315, 64.1373043	17.08.21
3	Проба 3 ниже впадения р. Варда	41.9217786, 64.1641775	17.08.21
4	Проба 4 д. Вавчуга (падения оз. Вавчуга)	41.922034, 64.2258142	17.08.21
5	Проба 5 д. Среднепогостская	41.8239687, 64.2791603	17.08.21
6	Проба 6 ниже впадения р Юра	41.8085621, 64.3125528	17.08.21
7	Проба 7-Б Холмогоры с берега	41.6391771, 64.2351523	17.08.21
8	Проба 8-Б место впадения р. Курья, с берега	41.5228181, 64.267907	17.08.21
9	Проба 9 ниже Вождорма	41.5194613, 64.3347289	17.08.21
10	Проба 10 фон ниже о. Оброшня	41.0916032, 64.3500667	17.08.21
11	Проба 11 ниже реки Смердьё (Брусовица)	40.9547041, 64.3473106	17.08.21
12	Проба 12 п. Никольское (лодочная станция)	40.8669653, 64.3850858	17.08.21
13	Проба 13 фон выше АЦБК	40.842375, 64.4199242	17.08.21
14	Проба 14 вероятный выпуск АЦБК	40.8369645, 64.4329582	17.08.21
15	Проба 15 фон ниже АЦБК	40.8264357, 64.4448903	17.08.21
16	Проба 16 Поморские верфи	40.7972068, 64.4555564	17.08.21
17	Проба 17 место впадения р. Юрас	40.6927225, 64.4808077	17.08.21
18	Проба 18 Краснофлотский мост	40.6148891, 64.4905853	17.08.21
19	Проба 19 напротив Морского-речного вокзала	40.5317984, 64.5260103	17.08.21
20	Проба 20 начало р. Кузнечиха	40.5252893, 64.5649264	18.08.21
21	Проба 21-Б р. Кузнечиха ниже впадения р. Юрас (берег)	40.6165183, 64.6217231	18.08.21
22	Проба 22-К р. С.Двина фон ниже центра Архангельска	40.4912672, 64.6025608	18.08.21
23	Проба 23-К Маймакса, впадение р. Повракула	40.5218603, 64.6489034	18.08.21
24	Проба 24-К Маймакса, ниже ЛПК №3	40.4778728, 64.6966973	18.08.21
25	Проба 25-К конец р. Кузнечиха	40.5416161, 64.7030986	18.08.21
26	Проба 26-К р. Кузнечиха ниже впадения р. Лодьма	40.6569549, 64.6650188	18.08.21
27	Проба 27-К конец Маймаксы	40.4869026, 64.7597156	18.08.21
28	Проба 28-К конец Корабельного рукава	40.4048007, 64.7577594	18.08.21
29	Проба 29-К р. С.Двина, напротив о. Лебедин	40.3409204, 64.8127831	18.08.21
30	Проба 30-К р. С.Двина, напротив о. Мудьгор	40.2111813, 64.8854872	18.08.21
31	Проба 31-Л губа Сухое море (центр)	40.3338578, 64.8901983	18.08.21
32	Проба 32 р. Кальчиньянка	40.4225848, 64.5921339	18.08.21
33	Проба 33 Корабельный рукав, у Новодвинской крепости	40.406673, 64.6994079	18.08.21
34	Проба 34 Корабельный рукав, о. Менокурская кошка	40.432432, 64.6528355	18.08.21
35	Проба 35 р. Хабарка	40.4530088, 64.594237	18.08.21
36	Проба 36-К Никольский рукав, ниже р. Цигломинки	40.3606509, 64.5460572	19.08.21
37	Проба 37-К Никольский рукав, ниже р. Лаи	40.2368519, 64.5486577	19.08.21
38	Проба 38-К Никольский рукав, о. Шакилов	40.0469838, 64.6311453	19.08.21
39	Проба 39-К Никольский рукав, выход	39.732176, 64.6771499	19.08.21
40	Проба 40-К Мурманский рукав, выход	39.9266119, 64.7832201	19.08.21
41	Проба 41-К Мурманский рукав, о. Лайда	40.1514159, 64.731087	19.08.21
42	Проба 42-К Мурманский рукав, о. Тяжелая кошка	40.268837, 64.6603586	19.08.21
43	Проба 43-К Мурманский рукав, о. Зеленец	40.3793179, 64.6251465	19.08.21
44	Проба 44-Б река Кудьма, КОС-1 Северодвинск, с берега	39.7954649, 64.5350183	21.08.21
45	Проба О1 р. Онега, фон выше р. Вонгуда, с берега	38.4847099, 63.8239796	21.08.21
46	Проба О2 р. Онега, ниже впадения р. Вонгуда, с берега	38.4670502, 63.8299518	21.08.21
47	Проба О3 у д. Машалихи, с берега	38.3566934, 63.8207925	21.08.21
48	Проба О4 р. Анда, с берега, с берега	38.2414166, 63.8391672	21.08.21
49	Проба О5 ниже р. Анда, с берега	38.2372211, 63.8523143	21.08.21
50	Проба О6 фон выше Онеги, с берега	38.1481813, 63.8883929	21.08.21
51	Проба О7 в черте города Онега, с берега	38.0740129, 63.9153472	21.08.21

52	Проба О8 возможный выпуск КОС Онега	38.0544868, 63.9238039	22.08.21
53	Проба О9 устье р. Онега	37.9966599, 63.935879	22.08.21
54	Проба БМ7 – Онежский залив, рядом с устьем р. Онега	37.930318, 63.969747	22.08.21
55	Проба утеряна		
56	Проба БМ9 - Онежский залив у острова Кий	37.88451, 64.004405	22.08.21
57	Проба БМ10 - Онежский залив	37.984915, 64.060365	22.08.21

2.2. Используемое оборудование

При отборе проб и последующем анализе использовалось оборудование российского производства, а также приборы ведущих мировых производителей:

- Физико-химические показатели измерялись на месте при помощи зонда YSI EXO2;
- для контроля ХПК использовался набор LEI-5000 производства ООО «ЭкоИнструмент» и аттестованная методика;
- определение биогенных элементов (аммония, нитратов, нитритов и фосфатов) осуществлялось на приборе HACH DR/3900 по аттестованным методикам с применением кювет-тестов LCK, анализ проб выполнялся в день отбора. Результаты по фосфатам дополнительно проверялись по общему фосфору методом атомной адсорбции;
- гидрохимические показатели контролировались сертифицированными приборами HACH и WTW;
- пробы для определения тяжелых металлов были законсервированы с использованием азотной кислоты (о.с.ч.) для последующего анализа с применением метода атомной адсорбции (ICP-MS) в сертифицированной лаборатории.



Рис.2.2. Полевое и лабораторное оборудование, использовавшееся для определения биогенных и органических веществ в полевой лаборатории

2.3. Результаты гидрохимических измерений

Динамика физико-химических показателей реки Северной Двины, полученная по результатам проведенных обследований, обнаруживает закономерности, характерные для речных вод рассматриваемого региона, а также для зоны смешения речных и морских вод.

Кислородный режим реки оценивается как благоприятный, диапазон изменений кислорода по результатам обследований составил 8,1010,2 мг/л, в среднем оставив 9,2 мг/л. Водородный показатель воды также изменялся в незначительном диапазоне от 8 до 8,5, в среднем составив 8,2 Слабо щелочная среда является характерной для рассматриваемой реки в летний период.

Таблица 2.2. Физико-химические показатели реки Северная Двина по результатам полевого обследования 17-22.08.2021 г

Точка	Т, °С	О ₂ , мг/л	Удельная эл-ть, мкСм/см	рН	Точка	Т, °С	О ₂ , мг/л	Удельная эл-ть, мкСм/см	рН
1	18,0	8,27	411	8,22	24	17,9	9,03	443	8,25
2	17,8	8,18	415	8,19	25	17,8	8,97	471	8,17
3	17,8	8,20	430	8,17	27	17,7	8,84	2330	8,08
4	17,9	8,10	429	8,15	28	17,3	8,79	6760	8,04
5	17,8	8,06	430	8,16	29	17,3	9,03	5140	8,10
6	18,0	8,11	431	8,15	30	16,5	9,93	22300	8,10
9	17,9	8,26	427	8,17	31	17,3	9,47	14160	8,33
10	17,8	9,38	442	8,32	32	17,6	9,36	441	8,08
11	18,1	10,15	442	8,48	33	17,6	9,40	444	8,23
12	18,5	9,89	444	8,40	34	17,9	9,43	440	8,20
13	18,4	10,19	441	8,43	35	17,9	9,49	440	8,26
14	26,4	8,21	445	8,12	36	18,0	9,33	440	8,38
15	18,4	9,57	450	8,32	37	18,2	9,33	441	8,35
16	19,4	9,19	500	8,21	38	17,9	9,04	444	8,25
17	18,1	9,18	439	8,29	39	17,0	10,00	26200	8,11
18	18,1	9,67	439	8,36	40	16,4	9,85	31300	8,08
19	18,0	9,36	444	8,31	41	17,7	9,60	11140	8,16
20	17,6	9,47	440	8,17	42	18,0	9,47	439	8,44
22	17,9	9,11	439	8,28	43	18,2	9,48	438	8,48
23	17,8	8,98	442	8,25					
Показатель	Температура, °С		О ₂ , мг/л	Удельная эл-ть, мкСм/см	рН				
Минимальное значение	16,4		8,1	411	8,0				
Максимальное значение	26,4		10,2	31300	8,5				
Среднее значение	18,0		9,2	3410	8,2				

Что касается удельной электропроводности, то данный показатель изменялся по результатам обследования в широком диапазоне и помог выявить генезис происхождения вод. Так станции мониторинга 30-31, а также 39-40-41 характеризовались электропроводностью более 10000 мкСм/см, что свидетельствует о преобладании морских вод при проведении измерений, либо влиянии приливно-отливных явлений. Также в

период прохождения приливо-отливных явлений проводились и измерения на станциях 27-29. Электропроводность речной воды Северной Двины вне районов проникновения морских вод является пресной и характеризуется электропроводностью на уровне 410-500 мкСм/см.

Динамика физико-химических показателей воды Онеги обнаруживает схожие с Северной Двиной черты.

Кислородный режим реки также оценивается как благоприятный, диапазон изменений кислорода по результатам обследований составил 8,3-10,3 мг/л, в среднем оставив 9,1 мг/л. Значения водородного показателя находились на более низких уровнях, изменяясь в диапазоне от 6,8 до 8,4, в среднем составив 8,0. Более низкие обнаруженные минимальные значения объясняются большей заболоченностью бассейна Онеги

Что касается удельной электропроводности, то ввиду проведения полевых исследований преимущественно в устьевом участке, обнаруженные величины электропроводности также в среднем были выше. Станции 45-51, по всей видимости, располагались вне зоны проникновения морских вод, поэтому электропроводность на них изменялась в диапазоне 350-400 мкСм/см. Остальные же станции вероятно располагались уже в зоне смешения, а последние 2 (точки 55-57) – уже в районе преобладания морских вод.

Таблица 2.3. Физико-химические показатели реки Онега по результатам полевого обследования 17-22.08.2021 г

Точка	Температура, °С	Растворенный кислород, мг/л	Удельная электропроводность, мкСм/см	pH
44	17,5	8,26	5490	7,97
45	18,3	8,50	419	8,08
46	18,3	8,53	400	8,13
47	19,4	8,81	408	8,20
48	17,0	9,09		7,85
49	17,5	8,98		7,77
50	19,3	10,30	349	6,77
51	18,3	9,50	352	8,43
52	17,0	9,02	1799	8,13
53	17,1	9,13	958	8,24
54	17,3	9,22	1731	8,21
55	17,3	9,20	33500	7,94
57	17,5	9,15	18650	8,07
Минимальное значение	17,0	8,3	349,0	6,8
Максимальное значение	19,4	10,3	33500,0	8,4
Среднее значение	17,8	9,1	5823,3	8,0

В целом по результатам проведенного анализа можно сделать вывод, что полученные результаты являются характерными для рассматриваемых водных объектов и

могут рассматриваться как стартовые показатели для мониторинга дальнейших климатических изменений.

2.4. Содержание биогенных и органических веществ

Воды р.Северной Двины характеризуются весьма низкими концентрациями биогенных элементов, концентрации аммонийного азота изменяются в диапазоне от 0 до 0,056 мг/л, составляя в среднем 0,017 мг/л, нитритного – в диапазоне от 0 до 0,004, в большей части проб нитриты отсутствуют. Нитратный азот в воде Северной Двины по результатам обследования изменялся в диапазоне от 0,24 до 0,58 мг/л, составляя в среднем 0,386мг/л, что также является достаточно низким значением. Содержание фосфора в речной воде также мало, составляет в среднем 0,021 мг/л, диапазон изменений – от 0 до 0,053 мг/л.

Таблица 2.4. Содержание биогенных и органических веществ в воде р. Северная Двина по результатам полевого обследования 17-22.08.2021 г

Точка	ХПК, мгО/л	NH4-N, мг/л	NO3-N, мг/л	NO2-N, мг/л	Р общ, мг/л	Точка	ХПК, мгО/л	NH4-N, мг/л	NO3- N, мг/л	NO2- N, мг/л	Р общ, мг/л
1	14,8	0,052	0,51	0,002	0,014	23	13,5	0,001	0,27	0,002	0,018
2	16,6	0,015		0,001	0,014	24	14,4	0,003		0,001	0,022
3	19,6	0,021	0,44	0	0,014	25	14,3	0,002	0,45	0,001	0,000
4	18,5	0,038		0,001	0,020	26	20,4	0,005		0,003	0,049
5	18,5	0,021	0,49	0,002	0,017	27	16,6	0,001	0,38	0,001	0,000
6	15,1	0,005		0,001	0,025	28	25,2	0,056		0	0,000
7	17,7	0,036	0,38	0,002	0,022	29	22,2	0,03	0,32	0	0,000
8	16,1	0,011		0,001	0,114	30	114	0,001		0	0,000
9	14,2	0,013	0,58	0,002	0,103	31	103	0,048		0	0,000
10		0,027		0,002	0,022	32	21,5	0,013	0,25	0	0,036
11	13,5	0,02		0	1,500	33	1500	0,007	0,53	0	0,021
12	12,7	0,015		0	0,017	34	16,7	0,006	0,37	0	0,022
13	17,2	0,012	0,3	0	0,052	35	52,2	0,004	0,24	0	0,041
14	13,1	0,012	0,47	0	0,023	36	22,5	0	0,31	0,001	0,020
15	12,3	0,032	0,4	0	0,016	37	16,1	0	0,58	0,003	0,024
16	20	0,043		0	0,016	38	15,9	0,033	0,39	0,003	0,025
17	18,2	0,014	0,36	0	0,000	39		0	0,34	0,004	0,000
18	13,7	0,016		0	0,000	40		0	0,28	0	0,000
19	14,3	0,022	0,43	0	0,045						0,000
20	73,8	0,003	0,54	0	0,017	41	45,4	0,038	0,24	0,002	0,028
21	12,9	0,011		0	0,022						
22	15	0,004	0,43	0	0,020	43	16,3	0,029	0,28	0	0,023
Показатель	ХПК		NH4-N		NO3-N		NO2-N		Р общ.		
Минимальное значение	12,3		0,000		0,240		0,000		0,000		
Максимальное значение	114,0		0,056		0,580		0,004		0,053		
Среднее значение	24,5		0,017		0,386		0,001		0,021		

В воде реки Онеги наблюдается схожая тенденция - концентрации аммонийного азота изменяются в диапазоне от 0 до 0,023 мг/л, составляя в среднем 0,008 мг/л, нитритного – в диапазоне от 0,001 до 0,014, в среднем составляя 0,007 мг/л. Нитратный азот в воде Северной Двины по результатам обследования изменялся в диапазоне от 0,31 до 0,74 мг/л, составляя в среднем 0,481 мг/л, что также является достаточно низким значением. Содержание фосфора в речной воде Онеги также мало, составляет в среднем 0,031 мг/л, диапазон изменений – от 0,01 до 0,055 мг/л.

Таблица 2.5. Содержание биогенных и органических веществ в воде р. Онега по результатам полевого обследования 17-22.08.2021 г

Точка	ХПК, мгО/л	NH ₄ -N, мг/л	NO ₃ -N, мг/л	NO ₂ -N, мг/л	Р общ, мг/л
44	54,6	0,023	0,7	0,014	
45	26,6	0,016	0,74	0,007	0,023
46	26,8	0,008	0,54	0,009	0,037
47	26,3	0,004	0,52	0,002	0,010
48	13	0	0,35	0,001	0,041
49	9,9	0	0,57	0,006	0,056
50	19,9	0,006	0,61	0,005	0,025
51	24	0,005	0,39	0,01	0,033
52	34,9	0,014	0,32	0,012	0,021
53		0,007	0,35	0,008	
54		0,017	0,43	0,011	
55		0	0,42	0,003	
57		0,004	0,31	0,007	
Минимальное значение	9,9	0,000	0,310	0,001	0,010
Максимальное значение	54,6	0,023	0,740	0,014	0,056
Среднее значение	26,2	0,008	0,481	0,007	0,031

Отличительной чертой обеих рассматриваемых рек является высокое содержание органических веществ, оцениваемое по значениям ХПК. Ввиду того, что обе реки расположены в зоне избыточного увлажнения, и характеризуются значительной заболоченностью, то характеризуются значительным поступлением органических веществ, включая гуминовые и фульвовые кислоты. В обеих реках величины ХПК изменяются в весьма широком диапазоне, в Северной Двине – от 12,3 до 114 мгО/л, составляя в среднем 24,5 мгО/л, а в Онеге – от 9,9 до 54,6 мгО/л, составляя в среднем 26,2 мгО/л. При этом стоит отметить, что максимальные значения ХПК отмечаются на наиболее антропогенно трансформированных участках, поэтому могут иметь смешанное природно-антропогенное происхождение.

Норматив ПДК по данному показателю для хозяйственно-питьевого водопользования составляет 15 мгО/л и превышен примерно в 15% отобранных проб.

2.5. Содержание тяжелых металлов

Элементный анализ проб проведен по методике НСАМ №520-АЭС/МС "Определение элементного состава природных, питьевых, сточных и морских вод атомно-эмиссионным и масс-спектральным методами с индуктивно связанной плазмой" (Свидетельство о метрологической аттестации методики №520-01.00115-2013-2017 от 27 марта 2017). Содержание Li, Be, B, Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Си, Zn, Ga, Ge, As, Se, Br, Rb, Sr, Y, Zr, Mo, №, Ru, Rh, Ag, Cd, In, Sn, Sb, Te, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, ТЬ, Dy, Ho, Er, Tm, УЬ, Lu, Щ Ta, W, Re, Os, Ir, Pt, Au, Hg, Tl, РЬ, Bi, Th и U в пробах определяли атомно-эмиссионным (iCAP-6500, Thermo Scientific, США) и масс-спектральным (X-7, Thermo Elemental, США) методами анализа. Результаты анализа представлены в таблицах:

Таблица 2.6. Содержание тяжелых металлов в воде р.Северной Двины по результатам полевого обследования 17-22.08.2021 г

Элемент	ПДК рыбхоз, мкг/л	ПДК сан-гиг, мкг/л	ПО, мкг/л	Содержание в пробе, мкг/л		
				Минимальное значение	Максимальное значение	Среднее значение
B	500	500	1	38,5	2664,2	265,8
Na	120000	200000	10	71,6	5916902,7	501634,2
Mg	40000	50000	5	12406,3	708998,7	71513,2
Al	40	200	1	1,1	571,7	98,1
Si		10000	16	183,9	1329,1	1072,4
K	50000		10	1316,8	227872,4	20608,5
Ca		180000	10	53067,8	221064,9	71797,8
Sc			0,1	< ПО	< ПО	< ПО
Ti	60	100	0,7	0,9	6,0	1,8
V	1	100	0,1	0,5	3,6	0,7
Cr	70	500	0,6	0,7	1,0	0,9
Mn	10	100	0,1	22,2	120,0	62,3
Fe	100	300	5	32,8	543,8	139,9
Co	10	100	0,1	0,1	0,2	0,2
Ni	10	20	0,5	< ПО	< ПО	< ПО
Cu	1	1000	0,5	0,6	2,5	1,0
Zn	10	1000	0,6	1,9	20,0	6,4
Ga			0,05	< ПО	< ПО	< ПО
Ge			0,04	< ПО	< ПО	< ПО
As	10	10	0,1	0,7	10,0	1,3
Se	2	10	0,5	< ПО	< ПО	< ПО
Br	1350	200	20	39,5	41181,4	3483,1
Sr	400	7000	0,1	<u>588,3</u>	4457,6	1004,2
Ba	740	700	0,1	5,6	59,0	44,8
Hg	0,01	0,5	0,01	0,0	0,0	0,0
Pb	6	10	0,02	0,0	4,7	0,3

Таблица 2.7. Содержание тяжелых металлов в воде р.Северной Двины по результатам полевого обследования 17-22.08.2021 г

Элемент	ПДК рыбхоз, нг/л	ПДК сан-гиг, нг/л	ПО, нг/л	Содержание в пробе, нг/л		
				Минимальное значение	Максимальное значение	Среднее значение
Li	80000	30000	8	9,5	100549,2	13543,4
Be	300	200	8	7,8	15,2	9,3
Rb	50000	100000	20	1152,2	66740,4	6906,5
Y			5	28,0	169,5	54,4
Zr	70000		8	38,0	661,1	131,6
Nb	10000	10000	5	13,1	13,1	13,1
Mo	1000	70000	20	623,7	7709,3	1307,7
Ru			5	< ПО	< ПО	< ПО
Rh			5	< ПО	< ПО	< ПО
Pd			5	< ПО	< ПО	< ПО
Cd	1000	1000	5	6,1	126,1	25,1
In			5	< ПО	< ПО	< ПО
Sn	112000		20	21,1	6469,1	340,5
Te		10000	20	< ПО	< ПО	< ПО
Cs	1000000		1	1,9	365,8	22,3
La			1	47,8	273,3	91,6
Ce		50000	1	107,1	638,9	199,1
Pr			1	12,8	75,3	22,3
Nd			1	44,8	305,8	88,5
Sm			1	11,1	58,8	18,2
Eu			1	1,1	12,1	3,4
Gd			1	10,9	58,3	18,6
Tb			1	1,2	8,2	2,5
Dy			1	7,7	39,1	12,5
Ho			1	1,4	7,2	2,4
Er			1	4,1	18,4	6,5
Tm			1	1,2	2,3	1,6
Yb			1	3,7	16,3	5,6
Lu			1	1,1	2,2	1,5
Hf			1	4,5	10,5	6,4
Ta			2	11789,7	11789,7	11789,7
W	800	50000	4	14,8	317,1	65,4
Re			1	1,1	2,5	1,3
Os			1	< ПО	< ПО	< ПО
Ir			1	< ПО	< ПО	< ПО
Pt			1	< ПО	< ПО	< ПО
Au			2	3,5	9,4	5,8
Tl	3000	100	1	1,3	3,4	1,9
Bi		100000	1	1,1	13,8	4,9
Th			1	3,5	16,9	6,3
U		15000	1	429,4	1935,2	591,2

Таблица 2.8. Содержание тяжелых металлов в воде р.Онеги по результатам полевого обследования 17-22.08.2021 г

Элемент	ПДК рыбхоз, мкг/л	ПДК сан-гиг, мкг/л	ПО, мкг/л	Содержание в пробе, мкг/л		
				Минимальное значение	Максимальное значение	Среднее значение
B	500	500	1	24,6	2796,8	421,7
Na	120000	200000	10	5265,0	6299367,4	868675,4
Mg	40000	50000	5	2806,8	755494,1	113520,2
Al	40	200	1	23,6	301,2	167,4
Si		10000	16	299,3	2283,2	1555,7
K	50000		10	728,5	246589,7	34438,7
Ca		180000	10	7964,8	262357,3	70446,3
Sc			0,1	< ПО	< ПО	< ПО
Ti	60	100	0,7	1,2	15,7	7,7
V	1	100	0,1	0,5	3,0	1,0
Cr	70	500	0,6	0,8	1,2	1,0
Mn	10	100	0,1	13,0	136,3	73,1
Fe	100	300	5	49,4	865,9	432,7
Co	10	100	0,1	0,11	0,31	0,17
Ni	10	20	0,5	2,46	2,46	2,46
Cu	1	1000	0,5	0,7	13,1	2,9
Zn	10	1000	0,6	3,0	159,1	20,0
Ga			0,05	< ПО	< ПО	< ПО
Ge			0,04	< ПО	< ПО	< ПО
As	10	10	0,1	0,6	4,8	1,3
Se	2	10	0,5	< ПО	< ПО	< ПО
Br	1350	200	20	36,3	44652,4	7078,0
Sr	400	7000	0,1	34,4	4717,0	882,6
Ba	740	700	0,1	12,3	69,8	34,4
Hg	0,01	0,5	0,01	0,023	0,039	0,031
Pb	6	10	0,02	0,1	0,3	0,2

Главной особенностью полученных результатов является широкая вариабельность макрокомпонентов химического состава воды, которые относятся к категории металлов. Концентрации данных веществ, в число которых входят кальций, магний, сера, натрий, калий, стронций, и т.д., значительно меняются в зависимости от генезиса водного объекта. В морских водах такие элементы содержатся в очень высоких концентрациях, и именно этим обусловлены столь высокие максимальные концентрации, полученные по результатам лабораторных определений. Данные значения носят природный характер, однако могут при этом являться и референсными для изучения влияния климатических изменений.

Таблица 2.9. Содержание тяжелых металлов в воде р.Онеги по результатам полевого обследования 17-22.08.2021 г

Элемент	ПДК рыбхоз, нг/л	ПДК сан-гиг, нг/л	ПО, нг/л	Содержание в пробе, нг/л		
				Минимальное значение	Максимальное значение	Среднее значение
Li	80000	30000	8	1703,5	108742,7	22335,2
Be	300	200	8	7,3	16,6	11,2
Rb	50000	100000	20	796,4	72819,4	10989,4
Y			5	38,0	193,9	113,0
Zr	70000		8	52,7	736,7	299,9
Nb	10000	10000	5	7,2	27,4	18,4
Mo	1000	70000	20	137,5	8620,9	1374,3
Ru			5	< ПО	< ПО	< ПО
Rh			5	< ПО	< ПО	< ПО
Pd			5	< ПО	< ПО	< ПО
Cd	1000	1000	5	< ПО	< ПО	< ПО
In			5	< ПО	< ПО	< ПО
Sn	112000		20	26,2	99,5	64,1
Te		10000	20	< ПО	< ПО	< ПО
Cs	1000000		1	2,4	161,5	32,7
La			1	49,1	419,9	204,4
Ce		50000	1	108,2	944,5	436,9
Pr			1	12,5	108,8	54,3
Nd			1	61,0	418,1	213,4
Sm			1	10,4	78,1	38,2
Eu			1	2,3	12,5	7,6
Gd			1	12,2	69,1	35,0
Tb			1	1,4	10,2	5,1
Dy			1	7,8	45,9	23,6
Ho			1	1,4	6,9	4,0
Er			1	4,1	22,1	11,8
Tm			1	1,2	2,7	1,6
Yb			1	3,2	15,6	8,5
Lu			1	1,3	2,1	1,5
Hf			1	4,0	9,1	6,2
Ta			2	2,5	44,5	23,5
W	800	50000	4	5,4	45,9	30,1
Re			1	< ПО	< ПО	< ПО
Os			1	< ПО	< ПО	< ПО
Ir			1	< ПО	< ПО	< ПО
Pt			1	< ПО	< ПО	< ПО
Au			2	< ПО	< ПО	< ПО
Tl	3000	100	1	2,2	6,6	3,9
Bi		100000	1	1,5	3,3	2,3
Th			1	7,3	47,4	30,9
U		15000	1	14,2	1966,2	483,2

Если же рассматривать микроэлементы, в природных водных объектах доля которых крайне низка, то можно сказать, что по результатам исследования практически не обнаружено превышений ПДК по таким компонентам, что свидетельствует о высокой самоочищающей способности таких рек. Высокое

содержание кислорода в сочетании со значительными скоростями течения способствуют тому, что элементы быстро окисляются до нерастворимых форм и выводятся из биогеохимического круговорота, не оказывая токсического воздействия на реки.

Заключение и выводы

В результате проведенной работы были обобщены имеющиеся за исторический период данные исследований химического состава воды рек Онеги и Северной Двины, а также проведены масштабные полевые исследования и проведен анализ химического состава проб, отобранных в августе 2021 года в рамках «Климатической экспедиции». Полученные данные свидетельствуют о благополучном экологическом состоянии данных рек в настоящий период.

Обобщение полученных результатов позволило сделать следующие выводы:

- По результатам обобщения многолетних данных мониторинга качества воды Северной Двины и Онеги выявлено, что бассейн Северной Двины характеризуется большей антропогенной нагрузкой вследствие более активного хозяйственного использования и высокой численности населения, чем бассейн Онеги. Результаты «Климатической экспедиции» в августе 2021 года подтвердили данный вывод.

- Полученные данные по химическому составу рек в 2021 году могут использоваться как стартовые показатели для мониторинга происходящих и будущих климатических изменений;

- В результате обобщения оценок последствий изменений климата на водный, ледовый и термический режим рек, проведенного на первом этапе проекта "Климатическая экспедиция", одним из наиболее ярких уже отмечающихся и прогнозируемых на будущее последствий является снижение периода ледостава и дальнейший прогрев воды. В сочетании с прогнозируемым ростом температуры воздуха это может сказаться в первую очередь на следующих показателях химического состава: минерализация (электропроводность); рН, содержание растворенного кислорода. В результате дальнейшего прогрева может произойти нарастание первичной продуктивности, что скажется в свою очередь на содержании биогенных веществ (азота и фосфора), а также содержании органики. Поэтому содержание минеральных и валовых форм азота и фосфора в сочетании величиной ХПК являются крайне чувствительными к потеплению климата и должны быть учтены при составлении будущей программы мониторинга.

По результатам проведения масштабного отбора проб наиболее репрезентативными для мониторинга в будущем представляются продольные

профили от зоны отсутствия влияния морских вод до зоны морского взморья, где преобладают воды морского генезиса. Таким образом получится отследить экологические изменения не только речной, но и устьевой и морской экосистемы Белого моря на граничащих с рассматриваемыми реками участках. Кроме того, при наличии возможностей, рекомендуется проводить мониторинг в нескольких рукавах многорукавной дельты Северной Двины.

При проведении мониторинга необходимо учесть приливно-отливные циклы рассматриваемых рек и проводить отбор проб в одну и ту же фазу циклов для получения репрезентативных данных.

Список использованной литературы

1. Даниленко А.О., Георгиади А.Г. Изменения ионно-солевого состава воды р. Северная Двина в период современного потепления климата // Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод. С. 28-34.
2. Джамалов Р.Г., Мироненко А.А., Мягкова К.Г., Решетняк О.С., Сафронова Т. И. Пространственно-временной анализ гидрохимического состава и загрязнения вод в бассейне Северной Двины // Водные ресурсы. 2019. Т. 46. №. 2. С. 149-160.
3. Климовский Н.В., Морева О.Ю., Матвеев Н.Ю. К вопросу о сезонной изменчивости распределения биогенных элементов в устьевой области р. Северная Двина // Глобальные проблемы Арктики и Антарктики. 2020. С. 468-473.
4. Кляцкая И.О., Гудков А.Б., Бобун И.И. Сезонные изменения качества поверхностных вод устьевого участка Северной Двины // Экология человека. 2008. №. 5.
5. Котова Е.И. Гидрохимическая характеристика устьевой области р. Северная Двина // Современные проблемы эрозионных, русловых и устьевых процессов. 2016. С. 121-123.
6. Котова Е.И. и др. Экологическая ситуация в устьевой области реки Северной Двины (Белое море) // Успехи современного естествознания. 2020. №. 5. С. 121-129.
7. Кузнецов В.С., Мискевич И.В., Зайцева Г.Б. Гидрохимическая характеристика крупных рек бассейна Северной Двины Л.: Гидрометеиздат. 1991. 195 с.
8. Мискевич И.В. Гидрохимия приливных устьев рек: методы расчета и прогнозирования: автореферат диссертации на соискание степени доктора географических наук : 25.00.28 / Мискевич Игорь Владимирович. Санкт-Петербург, 2005. 50 с.
9. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 3. Северный край. Л.: Гидрометиздат, 1972. 662 с.
10. Сафронова Т.И. и др. Особенности химического состава и динамика качества воды по течению Северной Двины // Водные ресурсы России: современное состояние и управление. 2018. С. 282-288.
11. Строков А. А., Веницианов Е. В. Разработка региональных предельных допустимых концентраций приоритетных показателей качества воды реки Онеги // Вода: химия и экология. 2015. №. 8. С. 38-47.
12. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Онега. Книга 2. Утверждена приказом ДПБВУ №147 п/д от 19.12.2014.

Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Северная Двина. Книга 2. Утверждена приказом ДПБВУ №139 п/д от 03.12.2014.

Часть 2

Исследования на содержание микропластика в устьевых участках рек Северная Двина и Онега и прибрежной территории Двинского залива Белого моря

Исполнители:

*к.х.н, директор по науке Фонда "Без рек как без рук"
Платонов М.М.*

*к.г.н., ст. преподаватель кафедры гидрологии суши
МГУ им. М.В. Ломоносова
Сазонов А.А.*

*магистрант кафедры гидрологии суши МГУ им. М.В. Ломоносова,
инженер лаборатории взаимодействия атмосферы и океана
Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН
Лисина А.А.*

Введение

Одной из задач Климатической экспедиции 2021 г., проходившей на севере Архангельской области, являлся сравнительный анализ стока микропластика в двух крупнейших реках данного региона – Северной Двины и Онеги. В ходе экспедиции в устьевых областях данных рек отобрано 11 проб на содержание микропластика.

Север Архангельской области, относящийся к Арктической зоне Российской Федерации, подвержен климатическим изменениям. Наиболее серьезные гидрометеорологические последствия повышения температуры в условиях меняющегося климата прогнозируются именно для Арктики. Стоит отметить, что увеличение температуры в Арктике происходит в два-три раза быстрее, чем в остальных районах Земли. Изменение количества осадков в Арктике происходит в результате двух основных процессов:

1. Из-за изменения соотношения осадков, вызванных переносом атмосферной влаги из более низких широт и испарения с поверхности воды, вызванное сокращением площади морских льдов [Bintanja, Selten, 2014].

2. Из-за изменения местной температуры (самых нижних слоев атмосферы), которые определяют, будут ли осадки, которые начинаются в виде снега, превращаясь в дождь на своем пути к поверхности.

Изменение режима выпадения осадков [Bintanja, 2018] в сочетании с изменениями температуры и эвапотранспирации будет иметь важные последствия для речного стока [Vihma et al., 2016]. В работе [Гусев, Насонова 2013] с использованием модели SWAP (Soil-Water-Atmosphere-Plants) показано, что при реализации сценариев A1-B2 полученных из генератора климатических сценариев MAGICC/SCENGEN для бассейна р. Северная Двина показано увеличение осадков и суммарного испарения, при уменьшении речного стока к 2063 г на 22-24 мм.

Исследования последних лет, связанные с проблемой загрязнения водных систем микропластиком, фокусируются на реках как на главном источнике поступления микропластика в Мировой океан. Негативное воздействие этого «нового» типа загрязнений заключается не только в адсорбции на поверхности полимерных частиц токсичных веществ и бактерий, а также их дальнейшей транспортировки, но и во вкладе микропластика в эмиссию парниковых газов в атмосферу.

Опубликованные в ряде работ результаты показали, что микропластик, попадая в водную систему распределяется между непосредственной водной средой, донными отложениями и живыми организмами [Barnes et al, 2009; Cluzard et al., 2015; Cole et al., 2011; Liebezeit et al., 2012; Obbard et al., 2014; Wright et al., 2013].

Процесс изменения климата и изменение количества микропластика в водах Арктики достаточно сложен и малоизучен. Так, согласно работе, опубликованной российско-канадским коллективом авторов (Казимирук и др., 2016) на осаждение, распределение и накопление в донных отложениях микропластика оказывает множество естественных факторов, таких как волновой режим, циркуляции водных масс, температурный режим, соленость воды, приход солнечной радиации и др. Все перечисленные характеристики так или иначе зависят от климатических изменений. В случае глобального потепления происходит повышение температуры поверхностного слоя воды, что приводит к изменению условий роста и размножений организмов. Их увеличение в конечном итоге приводит к увеличению донных отложений.

Температурный фактор является одним из определяющих в процессах биodeградация микропластика до наноскопических размеров в результате деятельности микроорганизмов, что способствует его дальнейшему накоплению в донных отложениях. Например, лабораторные исследования, проведенные в США и Канаде, показали, что при исследуемых температурах в пределах от -2°C до $+35^{\circ}\text{C}$ самая высокая интенсивность биodeградации микропластика отмечается при температуре от $+15^{\circ}\text{C}$ до $+25^{\circ}\text{C}$.

Еще одним следствием глобального потепления является таяние льда, что приводит к высвобождению микропластика, находящегося во льду. Однако существует и обратная связь между количеством микропластика и происходящими климатическими изменениями. Так, полимерные частицы снижают способность морских систем и морской биоты к усвоению парниковых газов.

Материалы и методы

Для отбора проб на содержание МП использовался комплект LEI-MANTA300 производства ООО «ЭкоИнструмент» с рукавами для фильтрации на 300 мкм. Данное устройство представляет собой закрепляющуюся за судно сеть с размером ячеек 300 мкм, на входном сечении которой размером 30 x 15 см установлена гидрометрическая вертушка, позволяющая определить суммарный объем речной воды, отфильтрованной в течение отбора пробы. Используемая сеть LEI-MANTA300 позволила произвести отбор из поверхностного слоя воды частиц крупнее 300 мкм. При отборе проб сеть LEI-MANTA300 буксировалась за судном со скоростью около 5 км/ч. Время буксировки определялось ожидаемыми концентрациями МП. Так, при содержании МП на уровне 0.1 ч/м³, для обнаружения только одной частицы необходимо отфильтровать не менее 10 м³ воды, а для получения воспроизводимых данных необходимо как минимум утроить это значение. В данном исследовании фактический объем фильтруемых проб составлял от 25 до 130 м³ (по показаниям гидрометрической вертушки), для отбора которых затрачивалось от 30 до 120 минут.



Рис. 1. Отбор проб на микропластик с помощью сети MANTA300 (фото М. Платонова)

После завершения отбора сеть промывалась таким образом, чтобы вся отфильтрованная проба оказалась в нижнем отделяемом стакане. Содержимое стакана количественно переносилось на каскад из двух сит, выполненных из нержавеющей стали с размером ячеек 5 мм (верхнее) и 0.3 мм (нижнее). Задерживающийся на верхнем сите крупный мусор удалялся, но предварительно с него смывались налипшие частицы МП. Все

оставшиеся на нижнем сите частицы, представляющие собой смесь МП и биологических остатков размером 0.3 – 5 мм, перемещались в подготовленную стеклянную емкость и консервировались в 70% спиртовом растворе для последующего лабораторного анализа. Отобранные пробы содержали значительный объем твердых органических веществ природного происхождения, которые было необходимо удалить для идентификации частиц МП. Для этого пробу переносили в стеклянный химический стакан объемом 2 л, установленный на магнитной мешалке с подогревом, добавляли 30% раствор гидроксида натрия и нагревали до температуры 75-80 градусов. В подогретую пробу небольшими порциями и при постоянном перемешивании вносили 30% раствор перекиси водорода до ее полного обесцвечивания. Разложение пробы занимало от одного до нескольких часов в зависимости от объема органических остатков. В отличие от природных органических соединений, абсолютное большинство синтетических полимеров устойчиво к перекиси и не подвергается заметному воздействию при описанном процессе разложения проб. Оставшиеся частицы, не вступающие в реакцию с перекисью, отфильтровывались на сите с размером ячеек 100 мкм. При значительном содержании в пробе минеральных остатков (песка, камушков, мелких ракушек), они дополнительно отделялись от менее плотных полимерных частиц с помощью насыщенного солевого раствора и воронки. Оставшиеся на сите частицы помещались под стереомикроскоп с увеличением до 80 раз для визуальной идентификации и подсчета количества частиц МП с отнесением их к одному из вышеописанных типов: фрагменты, волокна, пленки, пенопласты, пеллеты, гранулы.

Результаты и обсуждение

Полученные в рамках экспедиции данные позволяют исследовать загрязнение микропластиком нижнего течения р. Северная Двина и р. Онега и устьевого взморья рек (рис. 1, рис. 2, табл. 1). Полимерные частицы были обнаружены во всех исследуемых пробах. Анализ 11 проб воды позволил определить средние концентрации микропластика в реках Северная Двина и Онега, равные 0.42 шт./м³ и 0.67 шт./м³ соответственно. Для Северной Двины измеренные концентрации изменялись в диапазоне от 0.09 шт./м³ до 0.96 шт./м³, для Онеги – от 0.47 шт./м³ до 1.03 шт./м³. Выше Архангельска концентрации сохраняются на уровне 0.24 – 0.40 шт./м³, в черте города и до морского края дельты – на уровне 0.44 – 0.53 шт./м³, в акватории Двинской губы Белого моря зафиксированные значения колебались существенно – от минимальной концентрации в 0.09 шт./м³ до 0.96 шт./м³. На р. Онега максимальные концентрации микропластика были зафиксированы выше по течению от одноименного города (1.02 шт./м³), в черте города и в Онежской губе Белого моря значения снижаются примерно вдвое.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о существующем загрязнении микропластиком речных вод р. Северная Двина и Онега на относительно невысоком уровне – менее 1 шт./м³. При этом роль городов Архангельск и Онега как источника поступающего в речные воды микропластика невелика, о чем свидетельствует отсутствие тенденции к росту содержания полимерных частиц в пробах, отобранных ниже по течению от данных городов. Это позволяет делать выводы о том, что загрязнение микропластиком носит не точечный, а диффузный характер.

Исследовано распределение частиц микропластика по фракциям, при этом в пробах обнаружены частицы всех трех определяемых фракций – фрагменты, волокна, пленки, однако их соотношение непостоянно (рис. 3 – рис. 5). С возрастанием общей концентрации частиц всех фракций несколько увеличивается доля фрагментов. Увеличение доли фрагментов свидетельствует о появлении новых источников загрязнения. В целом, в пробах воды преобладают волокна, средняя доля которых – 76%, на фрагменты и пленки приходится 20% и 4% соответственно.

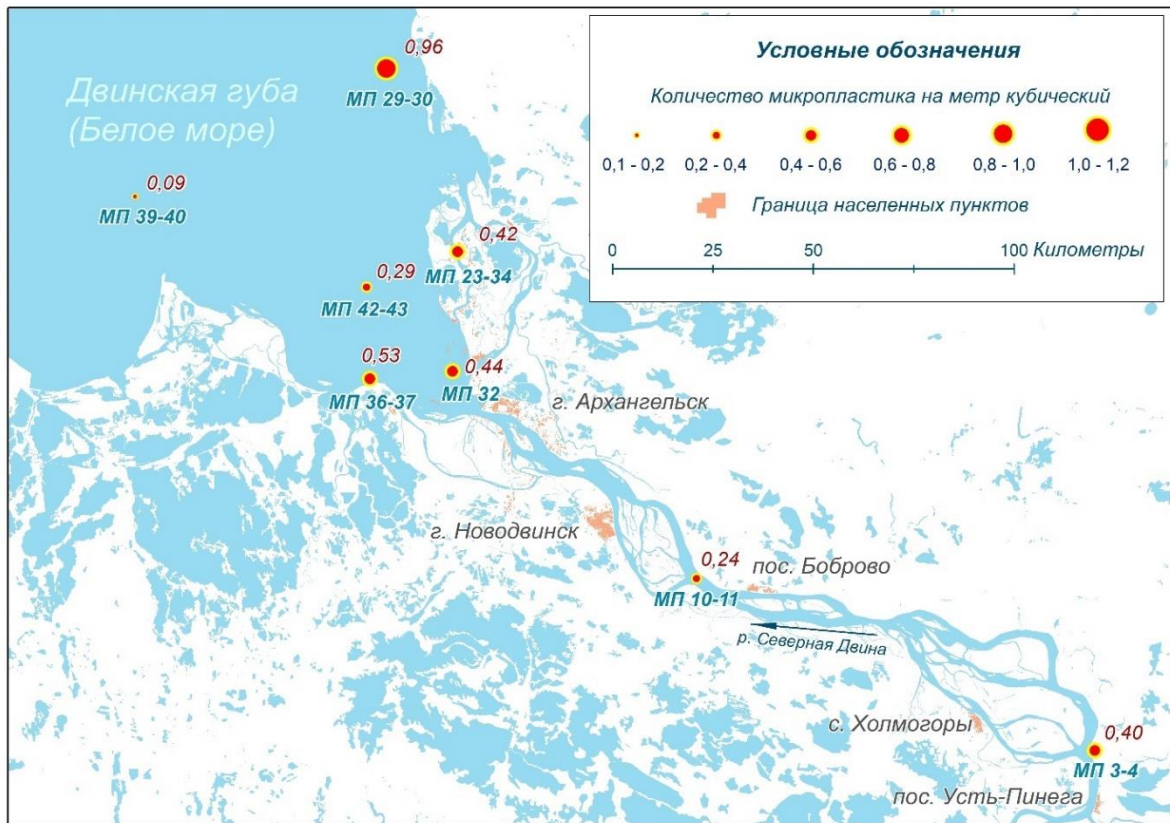


Рис. 1. Карта-схема точек отбора проб на микропластик и его концентрация в воде р. Северная Двина

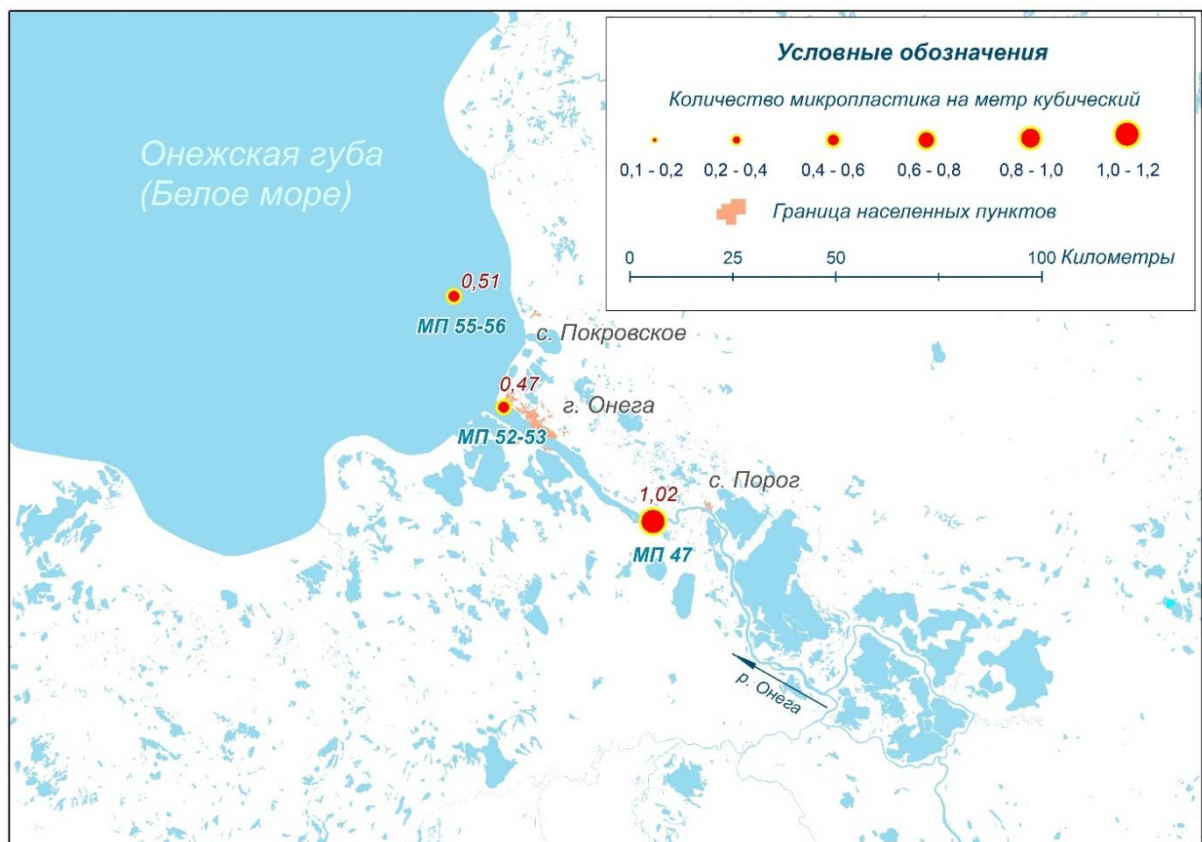


Рис. 2. Карта-схема точек отбора проб на микропластик и его концентрация в воде р. Онега

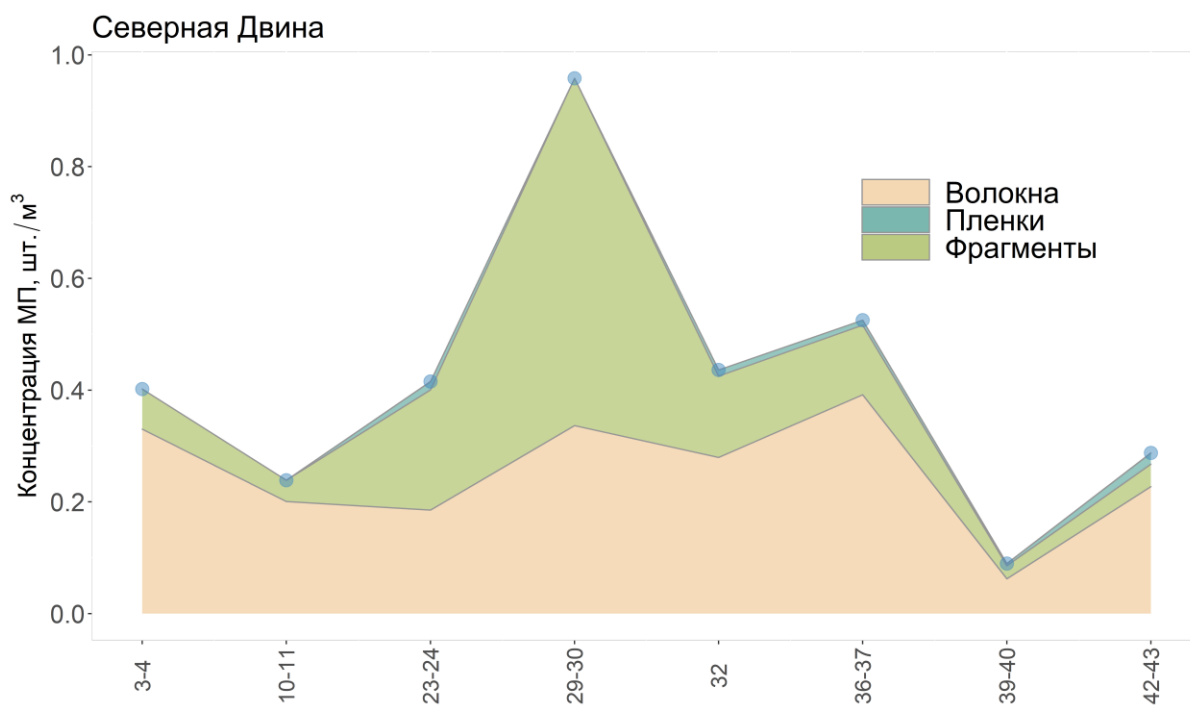


Рис. 3. Распределение микропластика по фракциям р. Северная Двина

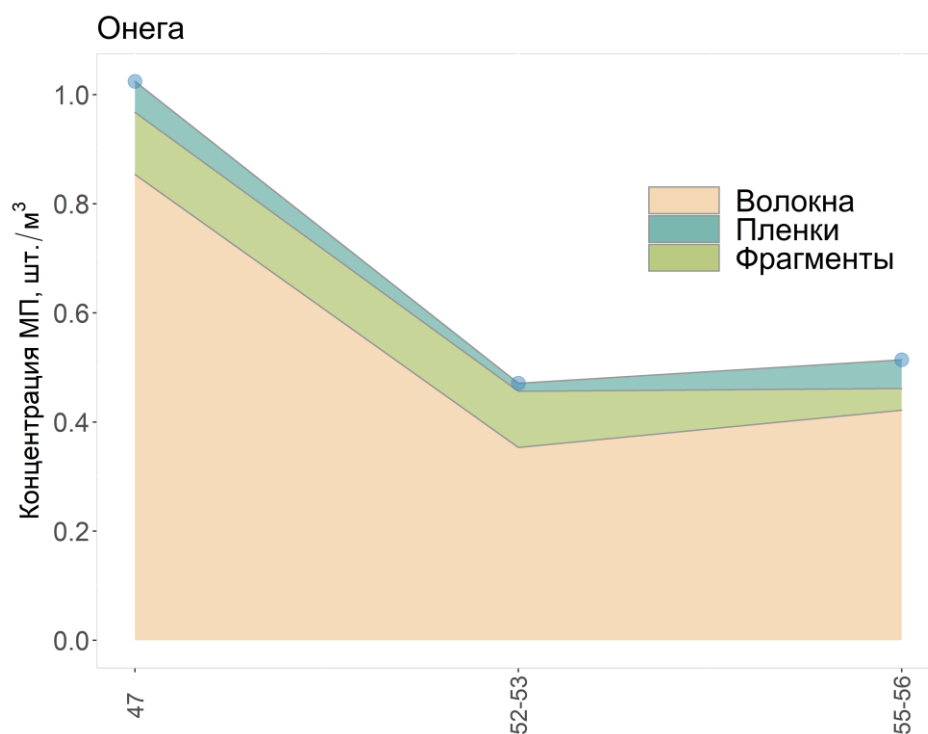


Рис. 4. Распределение микропластика по фракциям р. Онега

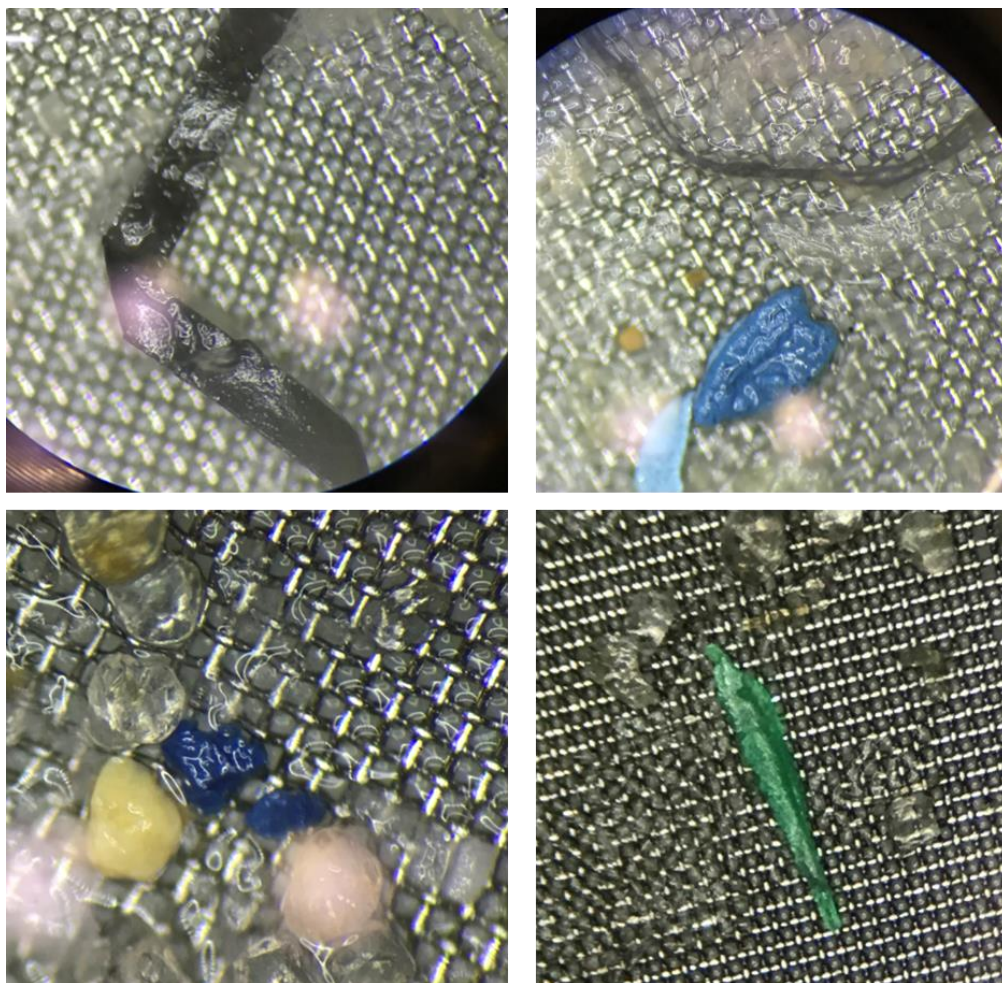


Рис. 5. Фото идентифицированных частиц микропластика различных фракций

Табл. 1. Результаты анализа проб воды на содержание микропластика

№	Объем отфильтрованной воды, м ³	Количество частиц Всего/Волокна/ Фрагменты/Пленки	Масса, мг	Количество частиц в 1 м ³
3-4	69.7	28/23/5/0	1.21	0.4
10-11	104.7	25/21/4/0	1.02	0.24
23-24	105.9	44/37/4/3	3.44	0.42
29-30	74.1	71/39/32/0	7.58	0.96
32	89.4	39/25/13/1	2.5	0.44
36-37	112.3	59/44/14/1	3.03	0.53
39-40	256.2	23/16/6/1	1.27	0.09
42-43	149.4	43/34/6/3	1.73	0.29
47	35.1	36/30/4/2	1.3	1.03
52-53	67.9	32/24/7/1	1.58	0.47
55-56	75.8	39/32/3/4	1.29	0.51

Заключение

В целом можно отметить, что при существующих на данный момент оценках содержания микропластика в воде Северной Двины не представляет серьезной угрозы для морей Российской Арктики. Результаты содержания микропластика в Двинской и Онежской губах оказались ниже, чем концентрации в других арктических морях России, опубликованные в работе [Ершова и др., 2020].

С учетом отсутствия статистически значимого тренда и прогнозным оценкам изменения стока реки можно сделать вывод, что при данной антропогенной нагрузке объем поступающего микропластика не увеличится. Однако это может быть нарушено вследствие увеличения хозяйственной деятельности, которая неизбежно возрастет в связи со потеплением климата.

Полученные результаты позволяют сравнить вынос микропластика реками Северная Двина и Онега. Так при среднемноголетних расходах воды 3420 м³/с у Северной Двины и 501 м³/с у Онеги, годовой сток микропластика в Белое море составляет 149.9 тонн/год и 43.0 тонн/год соответственно. Несмотря на более низкие концентрации микропластика в Северной Двине (в среднем 0.42 шт./м³ или 1.39 мг/м³) по сравнению с Онегой (в среднем 0.67 шт./м³ или 2.72 мг/м³), общий объем выноса микропластика Северной Двиной в 3.5 раз превышает вынос Онегой, что связано с большей водностью Северной Двины.

Вынос микропластика в Двинскую и Онежскую губы Белого моря будет приводить к снижению способности морской экосистемы к усвоению парниковых газов, что, в свою очередь, будет способствовать более интенсивной эмиссии парниковых газов в атмосферу и росту температуры приземного слоя атмосферы. Результаты исследований показали, что с стоком Северной Двины выносятся в 3.5 раза больше микропластика, чем со стоком Онеги. При этом увеличение степени загрязненности речных вод Северной Двины и Онеги микропластиком приведет к более интенсивному росту температур в Арктике.

Список использованной литературы

1. Исследование загрязнения микропластиком морей российской Арктики и Дальнего Востока / А. А. Ершова, Т. Р. Еремина, А. Л. Дунаев [и др.] // Арктика: экология и экономика. – 2021. – Т. 11. – № 2. – С. 164-177. – DOI 10.25283/2223-4594-2021-2-164-177.
2. Barnes, D.K.A., Galgani, F., Thompson, R.C. and Barlaz, M. Accumulation and fragmentation of plastic debris in global environments//Philosophical Transactions of the Royal Society of London. - 2009, V.364.-P. 1985–1998.
3. Cluzard, M., Kazmiruk, T., Kazmiruk, V. and Bendell, L.I. Intertidal concentrations of microplastics and their influence on ammonium cycling as related to the shellfish industry//Archives of Environmental Contamination and Toxicology.-2015, V. 69, No.3, P.310-319.
4. Cole, M., Lindeque, P., Halsband, C. and Galloway, T.S. Microplastics as contaminants in the marine environment: A review//Marine Pollution Bulletin.-2011, V.62.-P.2588-2597.
5. Liebezeit, G. and Dubaish, F. Microplastics in beaches of the East Frisian Islands Spiekeroog and Kachelotplate// Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology.-2012, V.89.- P.213-217.
6. Obbard, R.W., Sadri, S., Wong, Y.Q., Khitun, A.A., Baker, I. and Thompson, R.C. Global warming releases microplastic legacy frozen in Arctic Sea ice//Earth's Future.- 2014, V.2.-P.1-6.
7. Wright, S. L., Thompson, R. C. and Galloway, T. S. The physical impacts of microplastics on marine organisms: A review// Environmental Pollution.-2013, V.178.- P.483–492