



Климатическая
экспедиция

Климатическая экспедиция Российского экологического общества Результаты маршрута 2021



**РОССИЙСКОЕ
ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ
ОБЩЕСТВО**

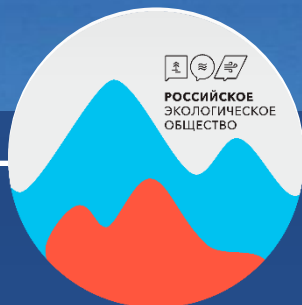


БЕЗ РЕК
КАК БЕЗ РУК

Цели и задачи

Целью экспедиции было изучение климатических изменений на севере Архангельской области и их влияния на другие компоненты экосистем. Исследования включали изучение на базе многолетних данных особенностей колебаний температуры и осадков в регионе, изменения водного режима рек Северная Двина и Онега, динамики развития берегов Белого моря. В ходе экспедиционной части проекта, осуществленной в августе 2021 года в Архангельской области, учеными были проведены дендрохронологические исследования, гидрохимические и экологические исследования, включая исследования на содержание микропластика (как фактора, способного повлиять на изменение климата) в устьевых участках рек Северная Двина и Онега и прибрежной территории Двинского залива Белого моря.

Экспертным партнером Российского экологического общества в экспедиции 2021 года стал Фонд «Без рек как без рук», в исследованиях принимали участие ученые Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова и Института географии РАН.



**Климатическая
экспедиция**

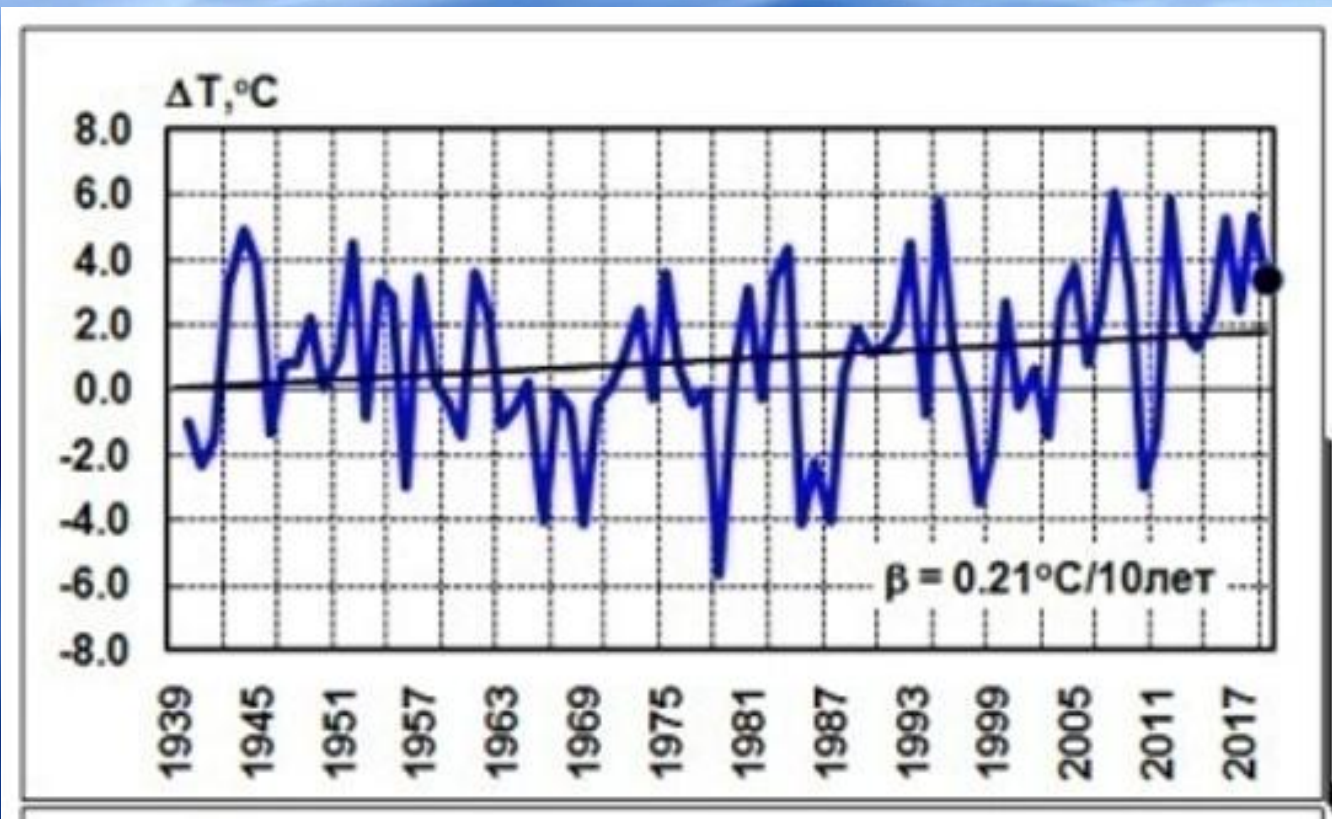
Изменения климата на севере Архангельской области и их влияние на развитие берегов Белого моря

Этапы камеральной работы

- 1. Сбор первичного материала** по многолетним изменениям климата (температурный режим, осадки, состояние снежного покрова, экстремальные гидрометеорологические явления и др.)
 - Современный климат (данные наблюдений по гидромет-станциям, реанализ)
 - Проекции климатических сценариев для 21 века (данные моделирования климатической системы проекта CMIP5 с учетом разные вариантов изменения концентрации CO₂ к 2100 году)
- 2. Обработка данных** — контроль данных, расчет основных многолетних показателей с помощью методов математической статистики
- 3. Обобщение результатов** — визуализация, представление в виде карт, графиков и таблиц
- 4. Итоговый анализ результатов** — контроль данных, расчет основных многолетних показателей с помощью методов математической статистики

Северный климатический район ЕТР

Температура воздуха



Аномалии (отклонения от средних за период 1961-1990 гг.) осредненной по территории квазиоднородных климатических районов средней за зиму (декабрь - февраль) температуры воздуха за период 1939-2020 гг.

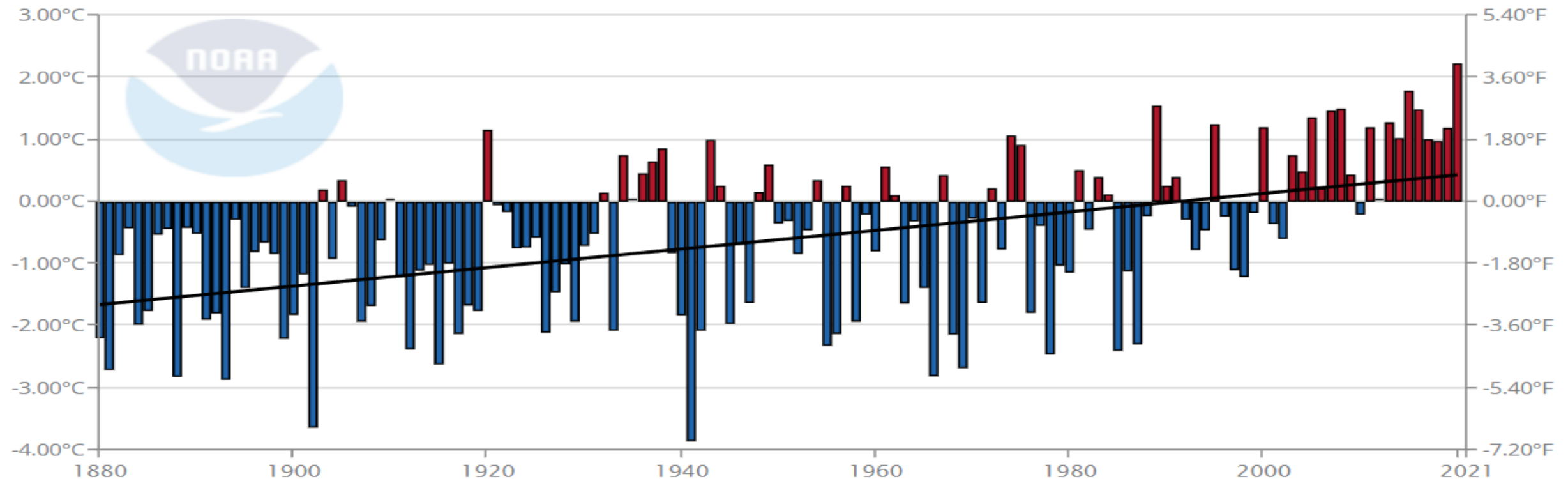
Изменение зимних температур в районе Архангельска

Температура воздуха

64.0°N, 40.0°E

January–December Temperature Anomalies

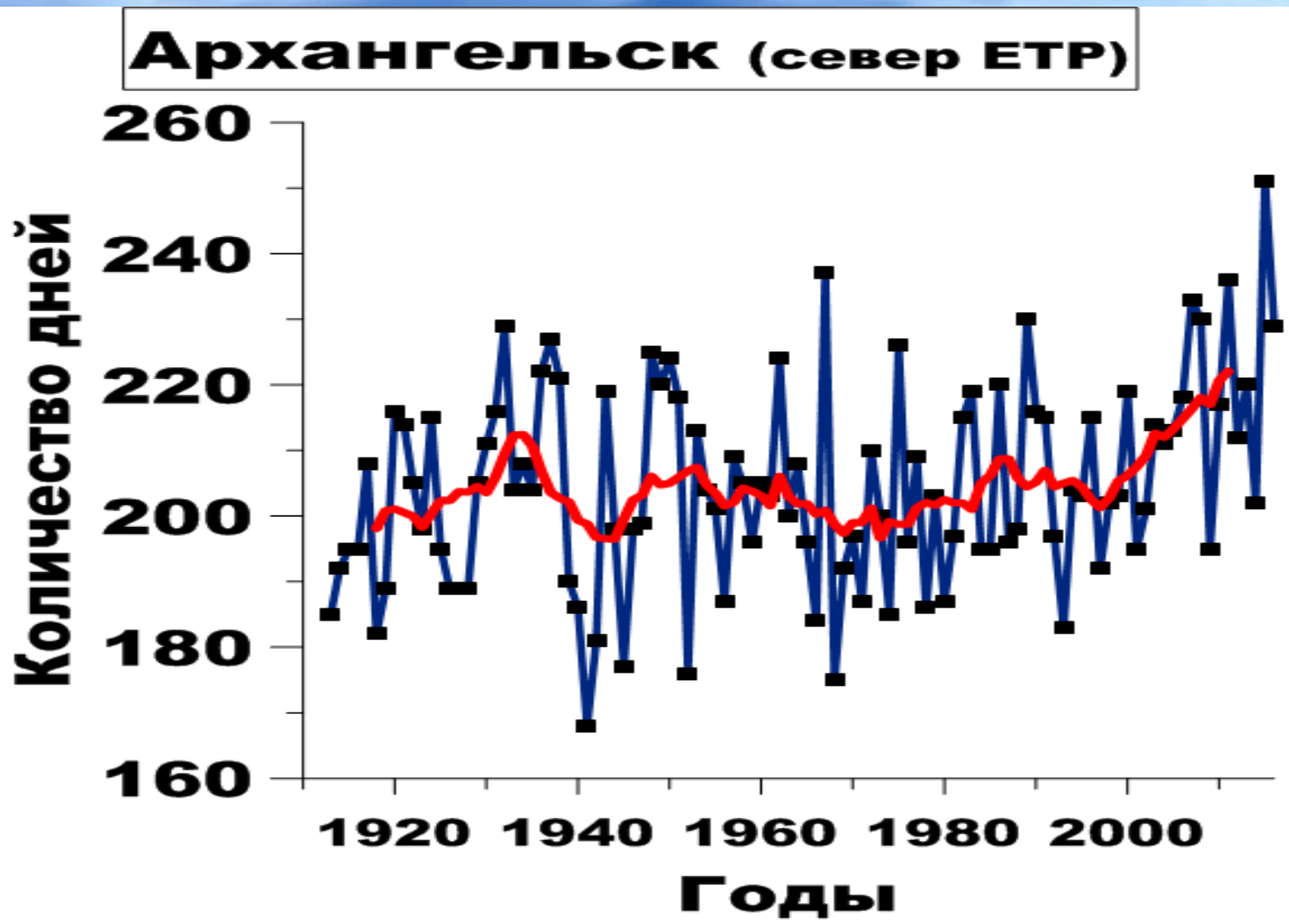
■ 1880–2020 Trend
(+0.15°C/Decade)



Аномалии (отклонения от средних за базовый период 1981-2010 гг.)

Современный климат бассейна рек Архангельской области

Температура воздуха

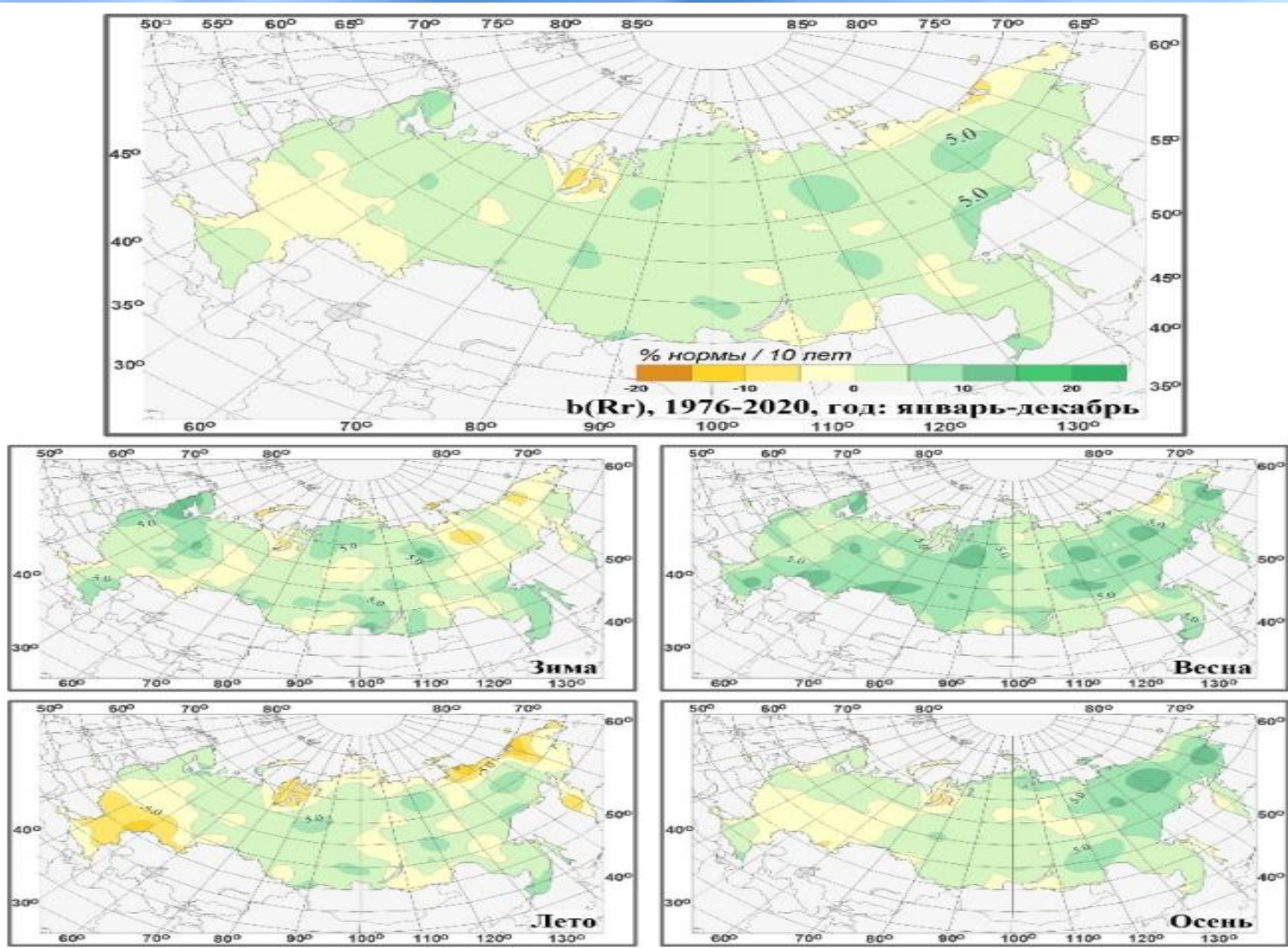


Изменение продолжительности периода с температурой приземного воздуха выше 0°C

Современный климат бассейна рек Архангельской области

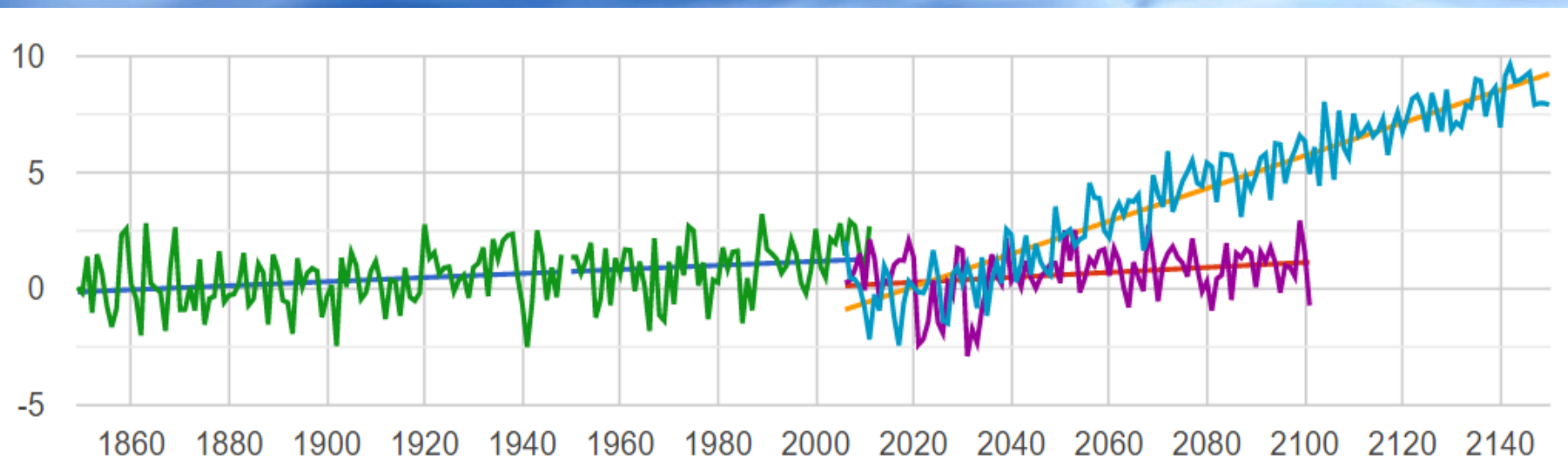
Атмосферные осадки

Пространственные
распределения локальных
коэффициентов
линейного тренда
годовых и сезонных сумм
атмосферных осадков за
1976-2020 гг. на
территории России (% / 10
лет).



Климатические проекции бассейна рек Архангельской области

Средняя годовая температура воздуха



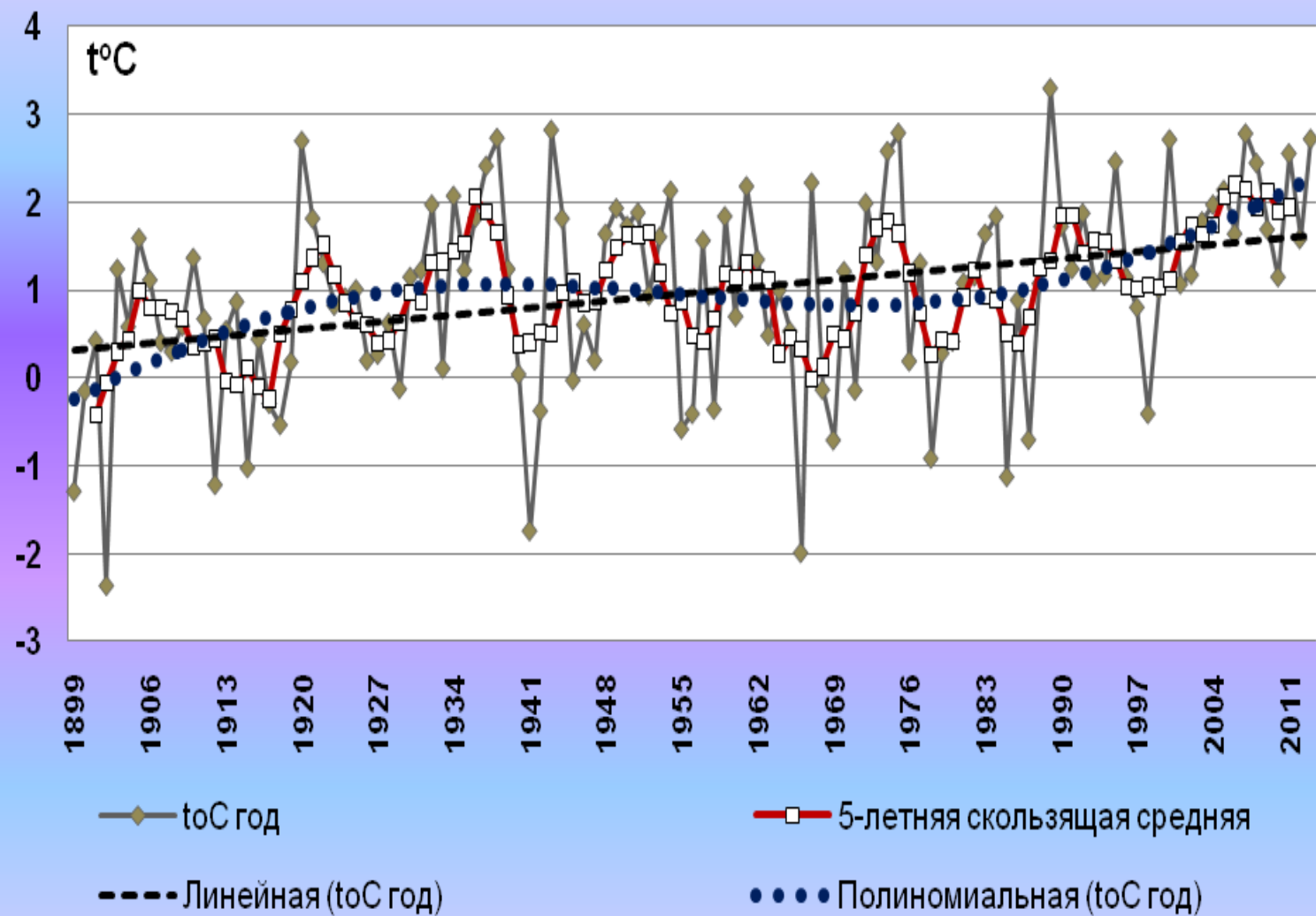
Temperature Trend, °C / Decade

Time Range: 1850 - 2151

Arhangel'Sk	0.09
- CNRM-CM5 RCP2.6	0.11
- CNRM-CM5 RCP8.5	0.70

Сценарии возможных изменений приземной температуры воздуха с учетом разной интенсивности парниковых газов по математическим моделям земной системы, МГЭИК (IPCC, Международная группа экспертов по изменению климата) – RCP8.5 (голубой график), RCP2.6 (фиолетовый график), современная температура (зеленый график)

Тенденции развития берегов Белого моря при влиянии изменений температуры воздуха, ледового и ветрового режима

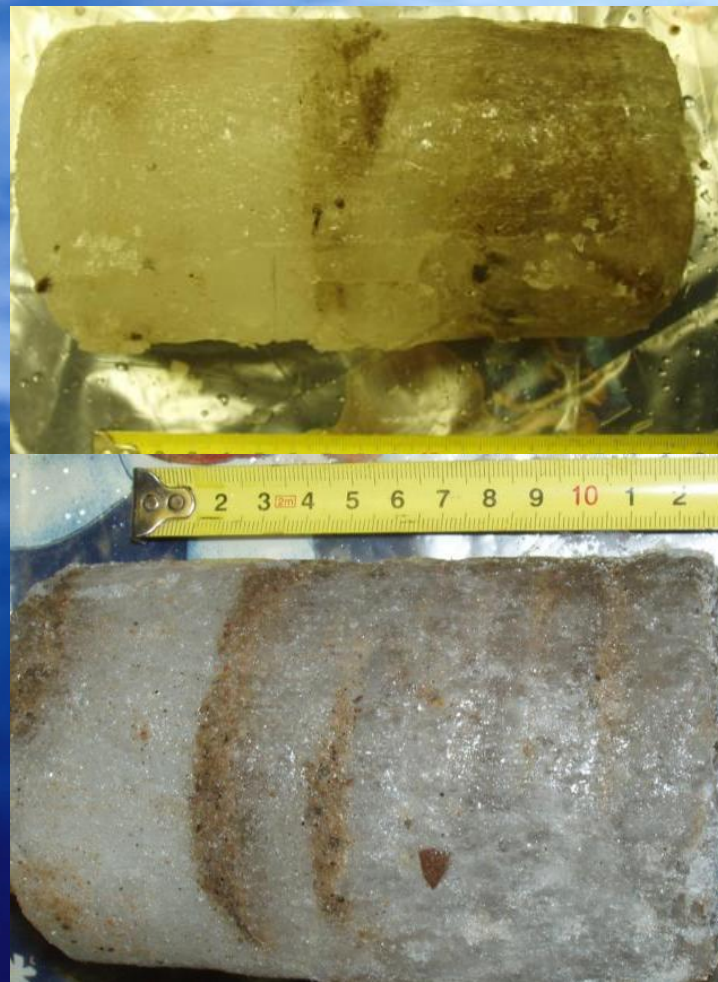


Потепление климата Беломорья обусловлено ростом повторяемости южных циклонов, способствующих уменьшению количества и мощности, но повышению динамики ледового покрова. Это приведёт к более интенсивным процессам взаимодействия припайных льдов с берегами и усложнению характера припайного льда

Тенденции развития берегов Белого моря при влиянии изменений температуры воздуха, ледового и ветрового режима



Морской лед. Мезенский залив



Морской лед. Онежский залив

Лед играет важную роль в перераспределении твердого материала практически во всей акватории, но величины перемещаемого материала существенно больше на мелководных участках Онежского залива и на обширных приливных осушках Мезенской губы, где припай практически отсутствует.

Тенденции развития берегов Белого моря при влиянии изменений температуры воздуха, ледового и ветрового режима



о. Кий в отлив

Многие беломорские острова «морского» типа, созданные процессами в море, которые во время сильных штормовых нагонов практически скрываются под волнами, в результате изменения ледового режима и подъёма уровня моря могут исчезнуть с лица Земли

Климатическая экспедиция Российского экологического общества



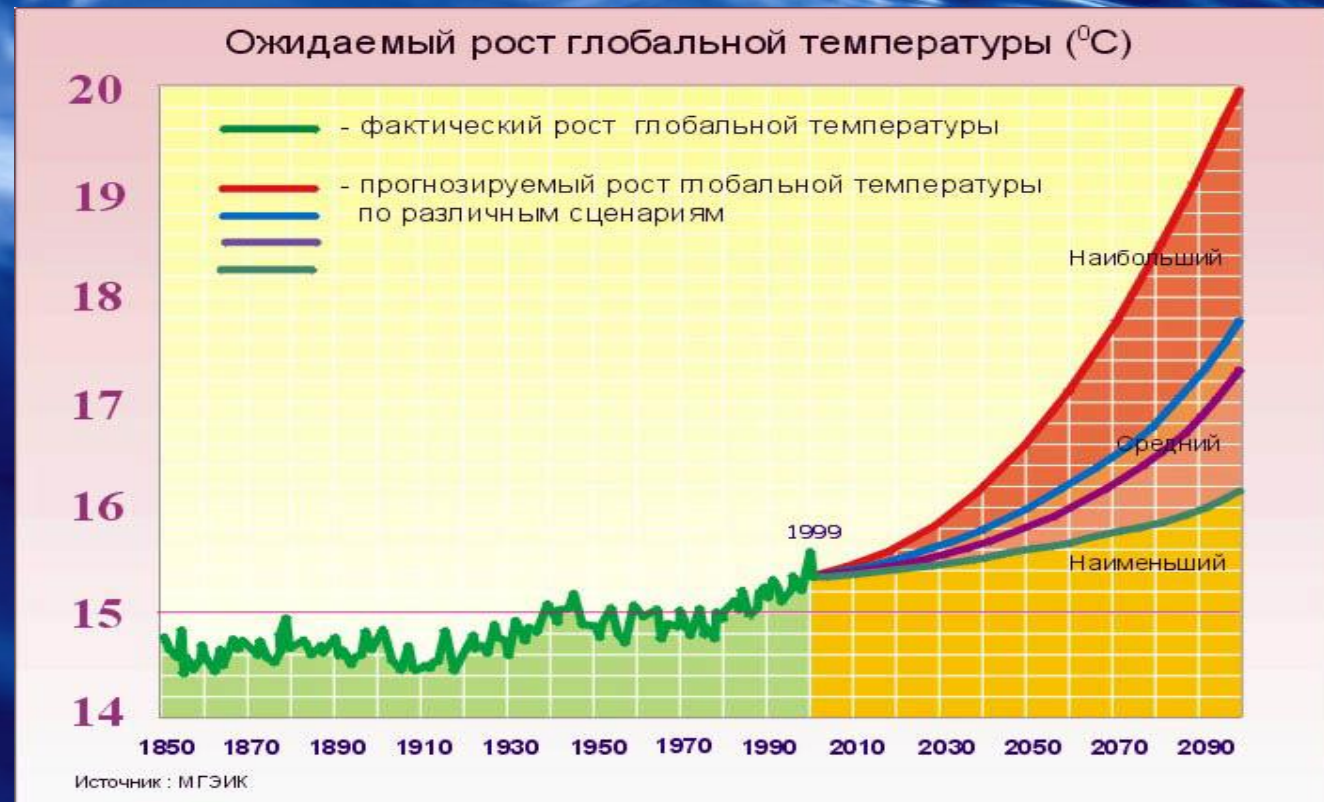
**Климатическая
экспедиция**

**Гидролого-гидрохимические
исследования в низовьях рек Северная
Двина и Онега**

Актуальность исследования

Климатические изменения последних десятилетий охватили всю географическую оболочку планеты, приводя к различным изменениям в природных системах, которые, в свою очередь оказывают сложное воздействие на хозяйственную деятельность человека.

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.



Объект исследования

Онега

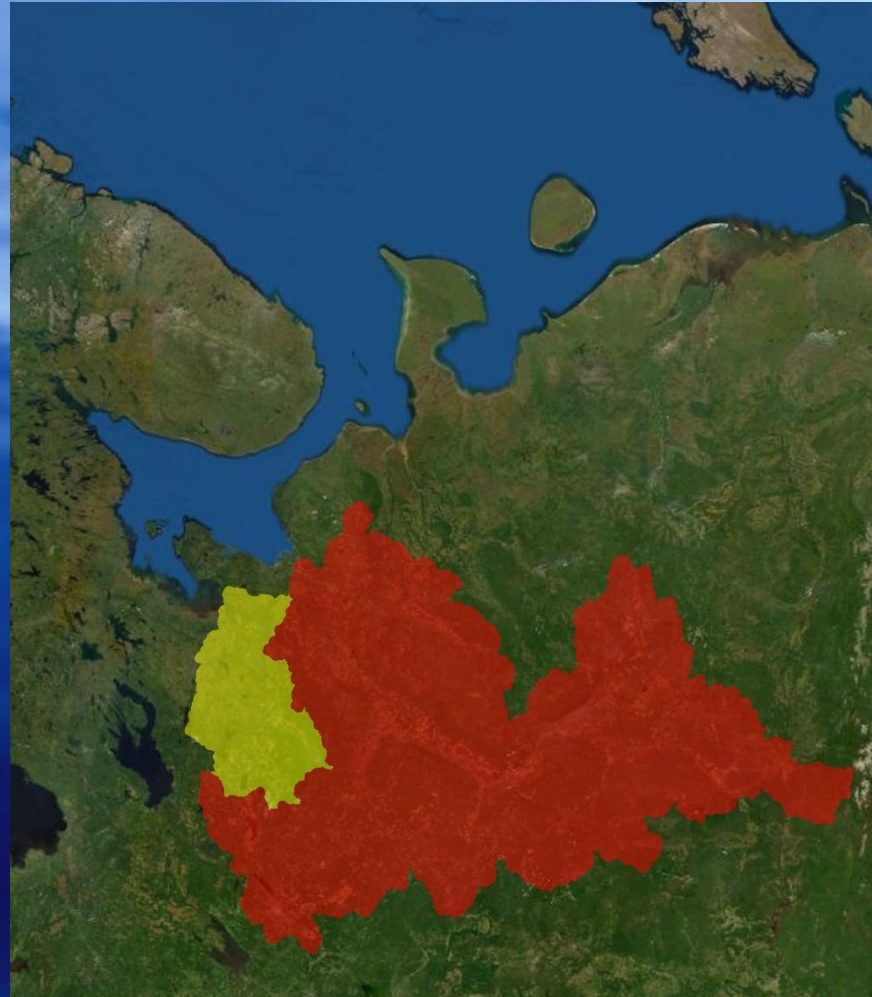
Онега — река на северо-западе России, в Архангельской области. Впадает в Онежскую губу Белого моря.

Бассейн — 56900 км²

Расход воды — 505 м³/с

Длина — 416 км

По площади бассейна Онега занимает 3-е место среди рек Архангельской области



Северная Двина

Северная Двина — река на севере Европейской части России, в Вологодской и Архангельской областях. Впадает в Двинскую губу Белого моря.

Бассейн — 357000 км²

Расход воды — 3420 м³/с

Длина — 744 км

Цель и задачи

Цели



Оценка климатообусловленных изменений различных аспектов гидрологического режима рр. Онега и Северная Двина и прилегающих к их устьям частей Белого моря.



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.

Задачи



Анализ проведенных гидрохимических исследований на реке Северная Двина и на реке Онега. Сравнение результатов между собой.



Анализ содержания органических и биогенных веществ в реке Северная Двина и в реке Онега. Сравнение результатов между собой.



Анализ содержания тяжелых металлов реке Северная Двина и в реке Онега. Сравнение с нормами ПДК.



Получение стартовых значений с целью проведения дальнейших многолетних наблюдений влияния климатических изменений на данные показатели в рассматриваемых реках.

Материалы и методы

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;

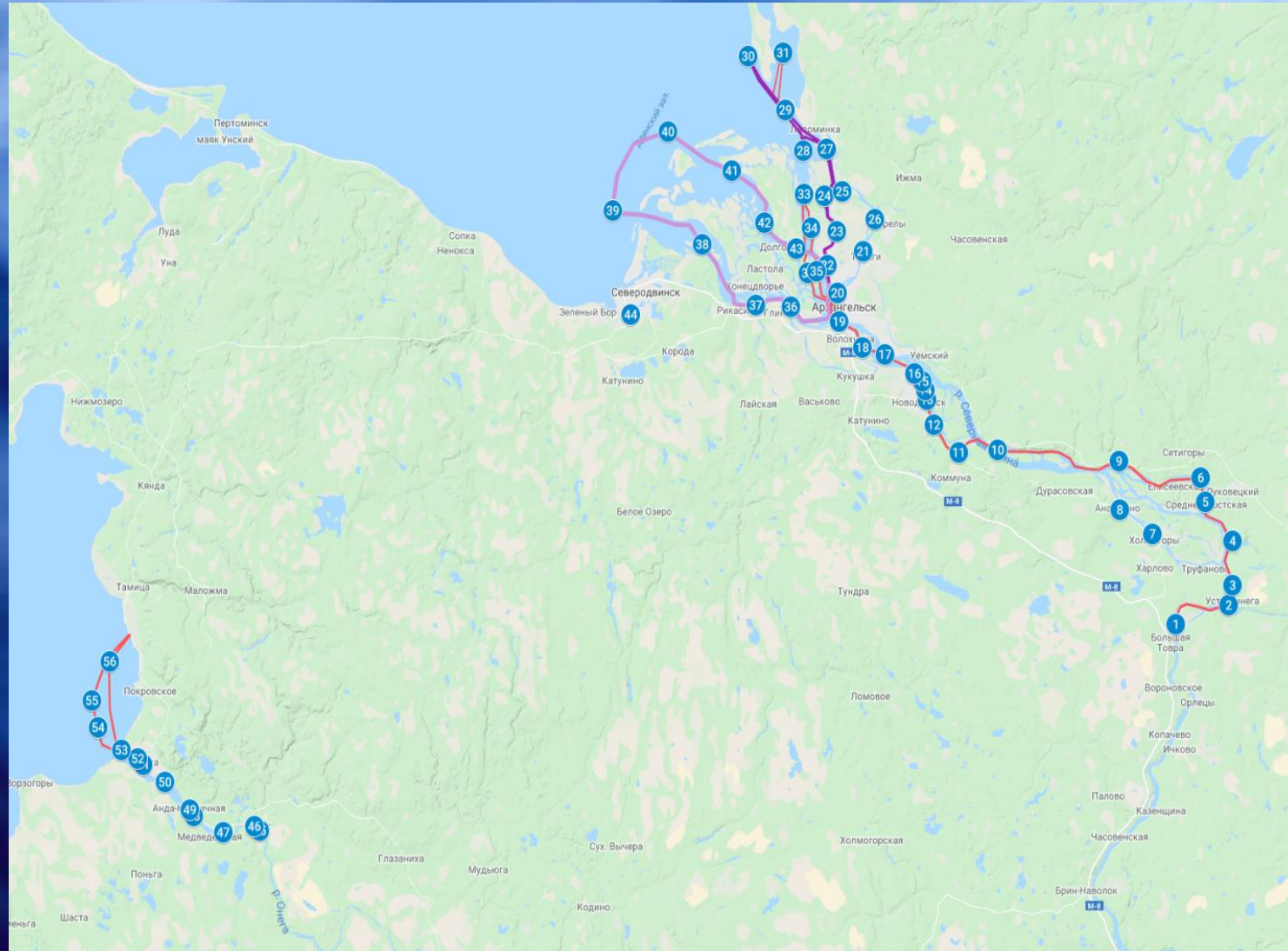
Пробы для определения тяжелых металлов были законсервированы с использованием азотной кислоты (о.с.ч.) для последующего анализа с применением метода атомной адсорбции (ICP-MS) в сертифицированной лаборатории.



Автоматизированная информационная
система государственного мониторинга
водных объектов (АИС ГМВО)

Гидрологические ежегодники

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



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.

Гидрохимические показатели

рН
Температура
Минерализация
Растворенный кислород

Исследования среднегодового расхода воды в реке Северная Двина и в реке Онега

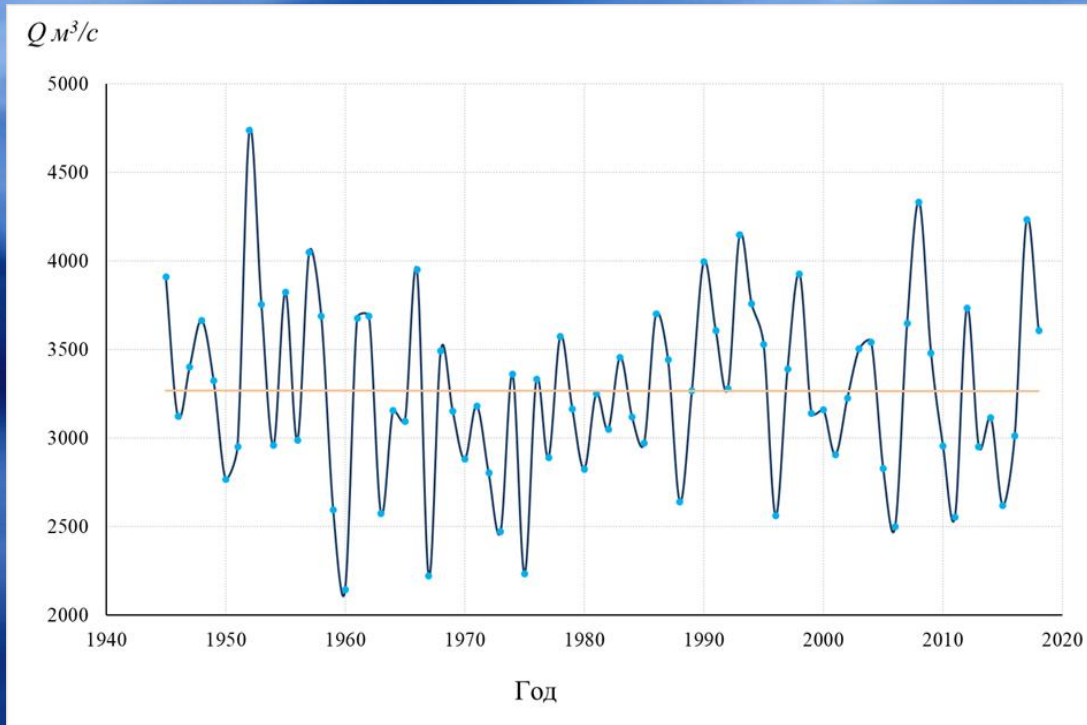
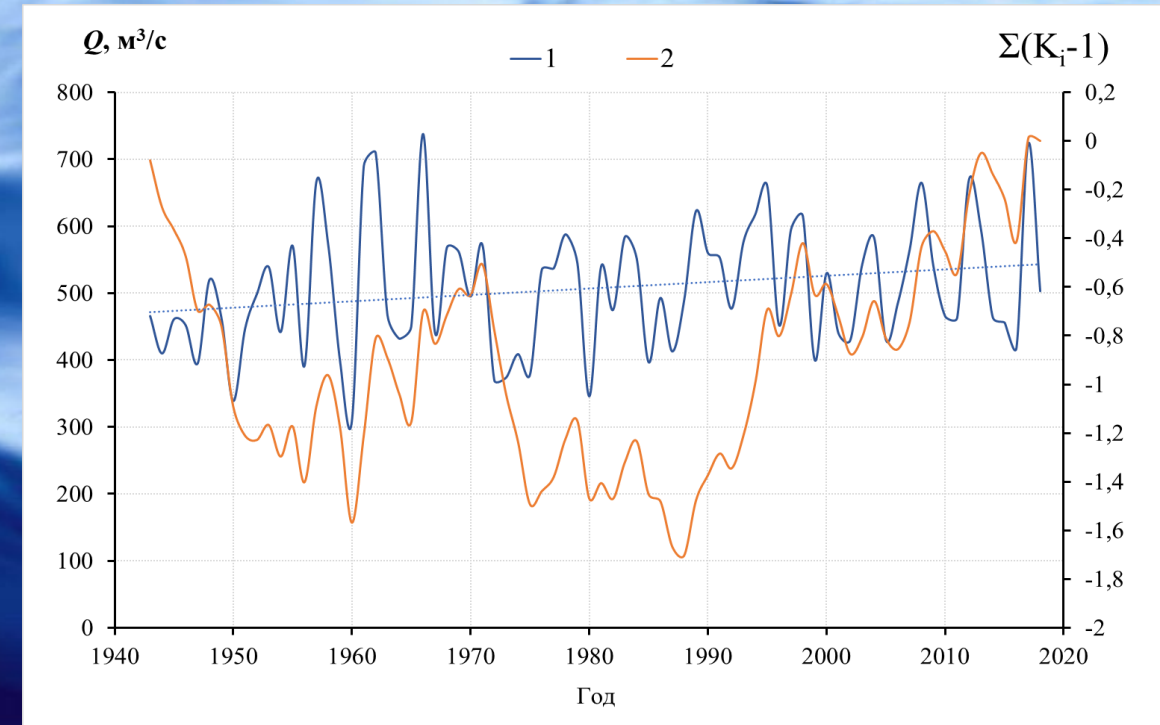


График колебания среднегодового значения расхода воды р. Северная Двина на г/п Усть-Пинега за период с 1945 по 2018 год (оранжевым цветом показана линия линейного тренда)



Изменение среднегодовых расходов воды половодья р. Онега – с. Порог за 1943-2018 гг. (1) (пунктиром показана линия линейного тренда) и разностная интегральная кривая среднегодовых расходов воды (2)

Характеристики термического режима (на примере р. Северная Двина)

Период	Среднемесячная температура воды, °С							
	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
1961-1990	0,05	4,3	13,5	18,8	16,6	10	2,9	0,17
1991-2014	0,11	5,3	15,1	19,7	17,2	11,1	4,1	0,32
Изменения, °С	0,06	1	1,6	0,9	0,6	1,1	1,2	0,15

Среднемесячные температуры воды за периоды 1961-1990 гг. и 1991-2014 гг. и изменения среднемесячных температур воды за эти периоды по гидрологическому посту р. Северная Двина – с. Усть-Пинега



Результаты оценивания будущих характеристик ледового режима рр. Онега и Северная Двина

Река-пост	Характеристика	Современная дата	Без увеличения стока	Увеличение стока на				
			2041-2060	10%	20%	30%	40%	50%
р. Северная Двина - д.Усть-Пинега	Дата появления льда	28.окт	11 ноя	11 ноя	11 ноя	10 ноя	10 ноя	10 ноя
р. Онега - д. Порог		09.ноя	21 ноя	23 ноя	24 ноя	26 ноя	28 ноя	29 ноя
р. Северная Двина - д.Усть-Пинега	Дата установления ледостава	15.ноя	20 дек	20 дек	20 дек	20 дек	20 дек	20 дек
р. Онега - д. Порог		19.ноя	23 ноя	23 ноя	24 ноя	24 ноя	25 ноя	25 ноя
р. Северная Двина - д.Усть-Пинега	Дата начала ледохода	28.апр	30 апр	29 апр	28 апр	27 апр	26 апр	25 апр
р. Северная Двина - д.Усть-Пинега	Дата очищения ото льда	8 мая	8 май	7 май	6 май	5 май	5 май	4 май

В низовьях р. Северная Двина наиболее значимые изменения наблюдаются в дате начала весеннего ледохода. Продолжительность ледостава за последние 30 лет сократилась суммарно на 10 суток и в среднем составляет 161 сутки на г/п Усть-Пинега (162 суток в г. Архангельске).

В отличие от бассейна р. Северная Двина на р. Онега значимо изменились сроки появления льда и сроки начала весеннего ледохода, при статистически незначимо изменившихся датах замерзания и очищения ото льда. Тем не менее, период ледостава сократился в среднем на 2 недели.

Результаты гидрохимических измерений на р. Северная Двина



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 8,1-10,2 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.

Результаты гидрохимических измерений на р. Онега



Динамика физико-химических показателей воды Онеги обнаруживает сходие 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

Содержание биогенных и органических веществ р. Северная Двина



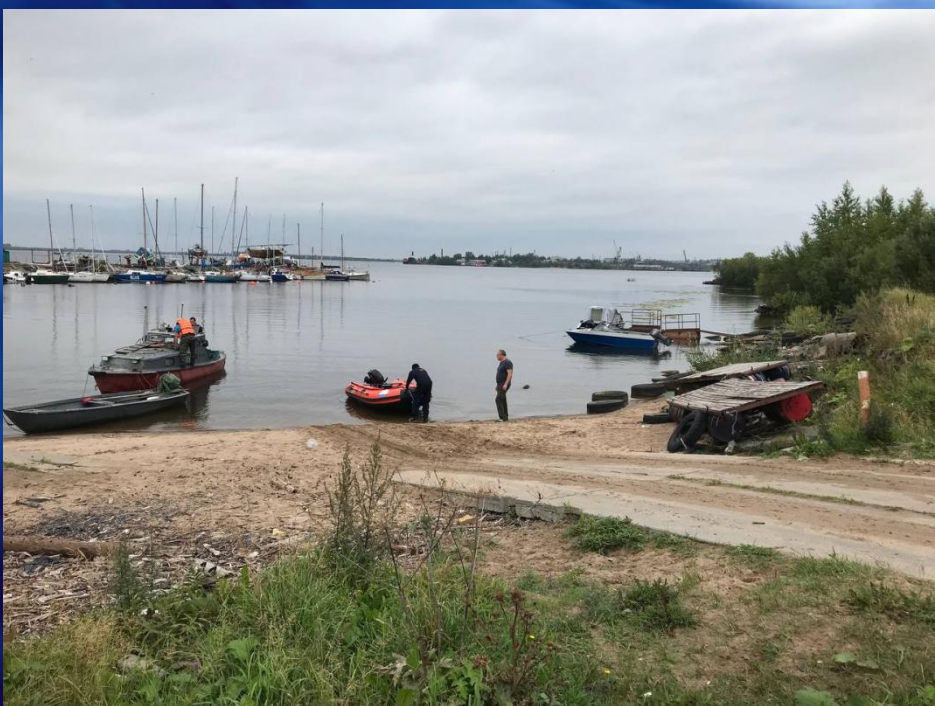
Воды р. Северной Двины характеризуются весьма низкими концентрациями биогенных элементов, концентрации аммонийного азота изменяются в диапазоне от 0 до 0,056 мг/л, составляя в среднем 0,017 мг/л, нитритного – в диапазоне от 0 до 0,004, в большей части проб нитриты отсутствуют. Нитратный азот в воде Северной 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.

Содержание биогенных и органических веществ р. Онега



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.

Отличительной чертой обеих рассматриваемых рек является высокое содержание органических веществ, оцениваемое по значениям ХПК (химическое потребление кислорода). Ввиду того, что обе реки расположены в зоне избыточного увлажнения, и характеризуются значительной заболоченностью, они 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**.



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



Содержание тяжелых металлов

67 элементов

Li

Mg

Te

Al

Ru

B

Na

Be

Zn

P

As

V

Sc

S

K

Si

Cd

Ca

Cu

Sr

Ti

Mn

Br

Cr

Se

Ge

Co

Ga

Rb

Sb

U

Rh

Mo

Zr

Sn

In

Ag

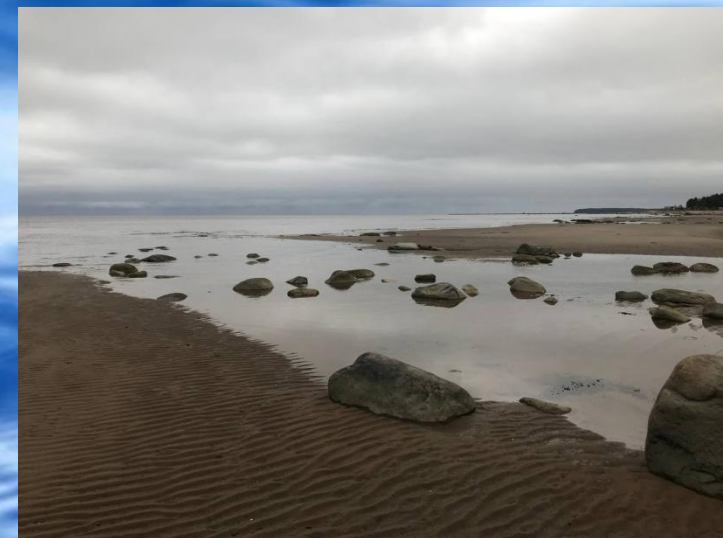


iCAP-6500, Thermo Scientific, США

Элементный анализ проб проведен по методике НСАМ №520-АЭС/МС "Определение элементного состава природных, питьевых, сточных и морских вод атомно-эмиссионным и масс-спектральными методами с индуктивно связанной плазмой"

Содержание тяжелых металлов

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.



Содержание тяжелых металлов

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.

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



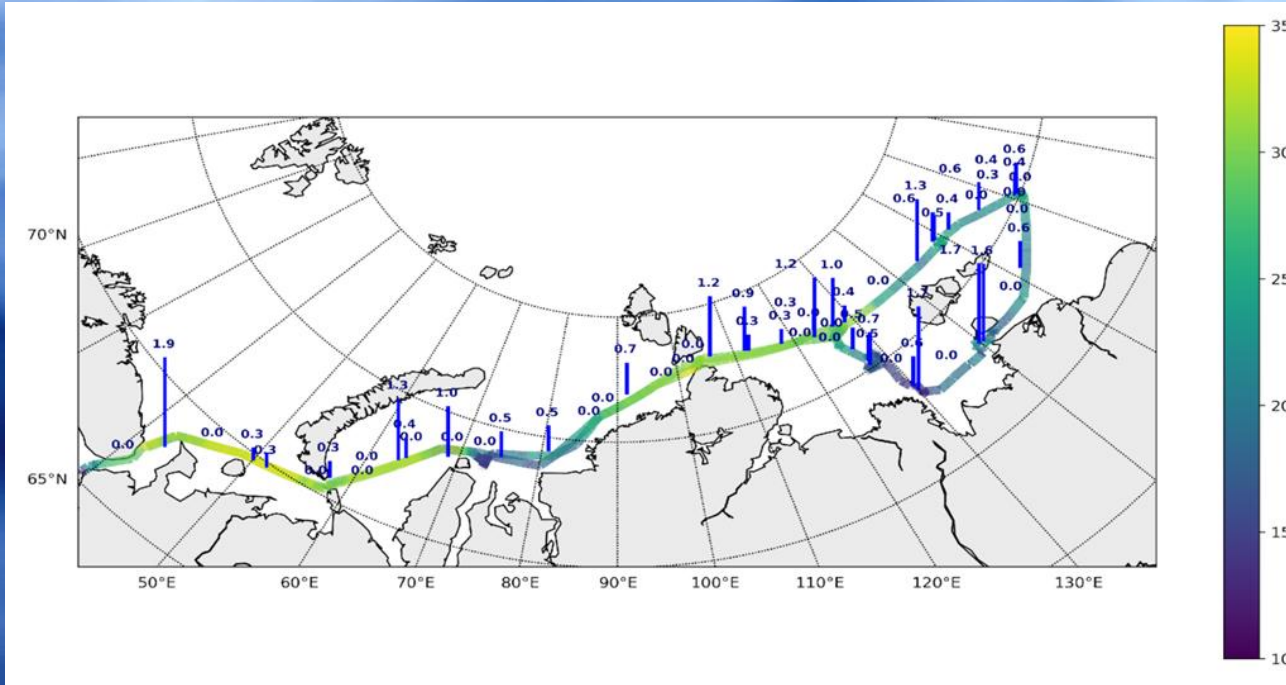
В сочетании с прогнозируемым ростом температуры воздуха уменьшение периода ледостава может сказаться в первую очередь на следующих показателях химического состава: минерализация (электропроводность); pH, содержание растворенного кислорода. В результате дальнейшего прогрева может произойти нарастание 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.



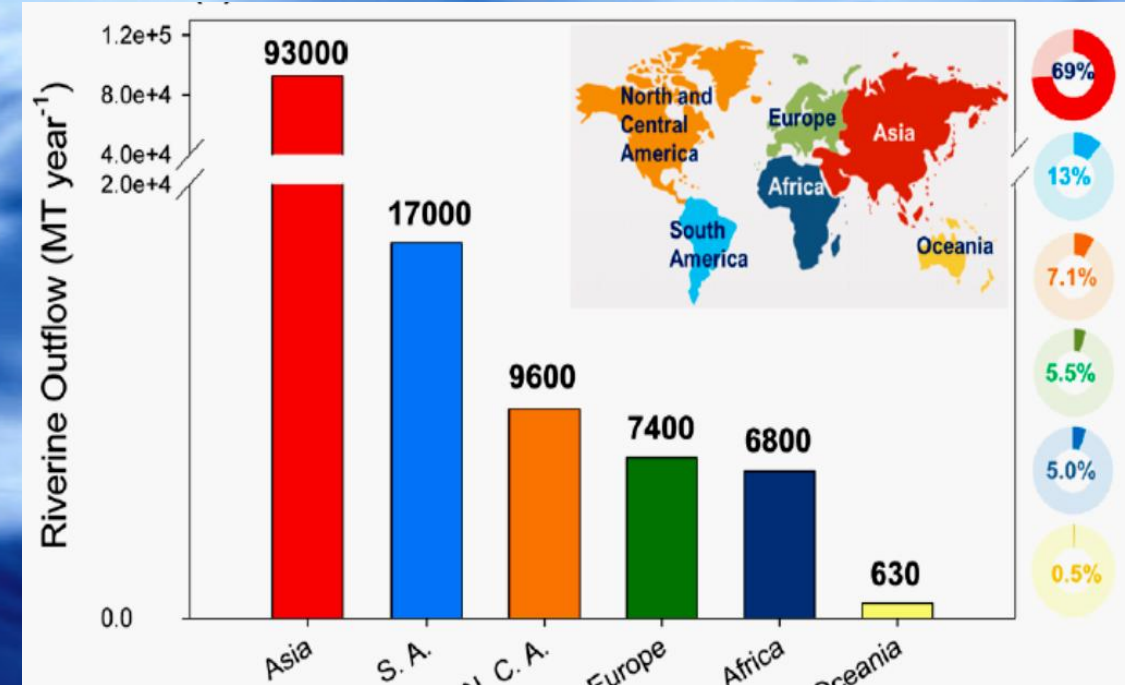
**Климатическая
экспедиция**

**Сравнение выноса микропластика
реками Северная Двина и Онега
и оценка необходимости его учета как
фактора климатических изменений в
данном регионе**

Микропластиковое загрязнение



Содержание микропластика в верхнем слое арктических вод (мг/м³)



Объем ежегодного загрязнения океана микропластиком по континентам

88 – 95% всего поступления микропластика в мировой океан обеспечивается 10 крупнейшими реками, что составляет от 0.5 до 4 миллионов тонн в год!

Влияние микропластика на климатические изменения



- Одним из факторов естественной регуляции климата являются процессы газообмена атмосферы и океана.
- Океан (наряду с лесами) —важнейший нейтрализаторов CO₂, поглощающий значительную его часть.
- Помимо пассивного поглощения CO₂ (растворения, что приводит к повышению кислотности воды), в океане происходит и активное поглощение углекислого газа микроводорослями и зоопланктоном, что связывает CO₂ без опасного изменения кислотности океана
- Частицы микропластика снижают способность морской биоты к активному поглощению CO₂, что нарушает баланс газообмена с атмосферой и ускоряет климатические изменения

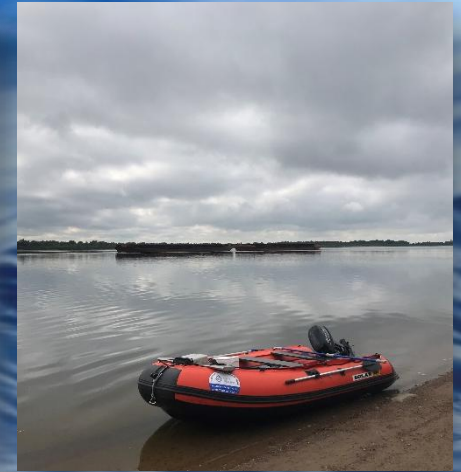
Методика исследований

Отбор проб

Комплект LEI-MANTA300 производства ООО ЭкоИнструмент с фильтрующим рукавом 300 мкм

Время траления зависит от ожидаемого содержания микропластика и обычно составляет 45-60 минут

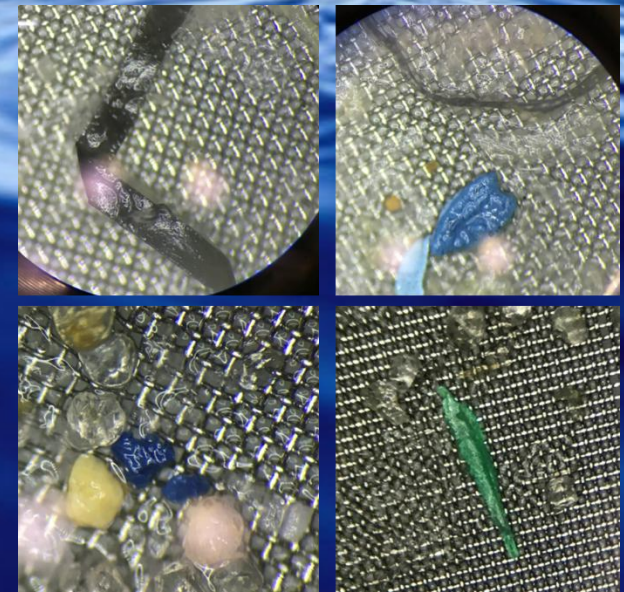
Фактический фильтруемый объем составил от 25 до 130 м



Лабораторный анализ

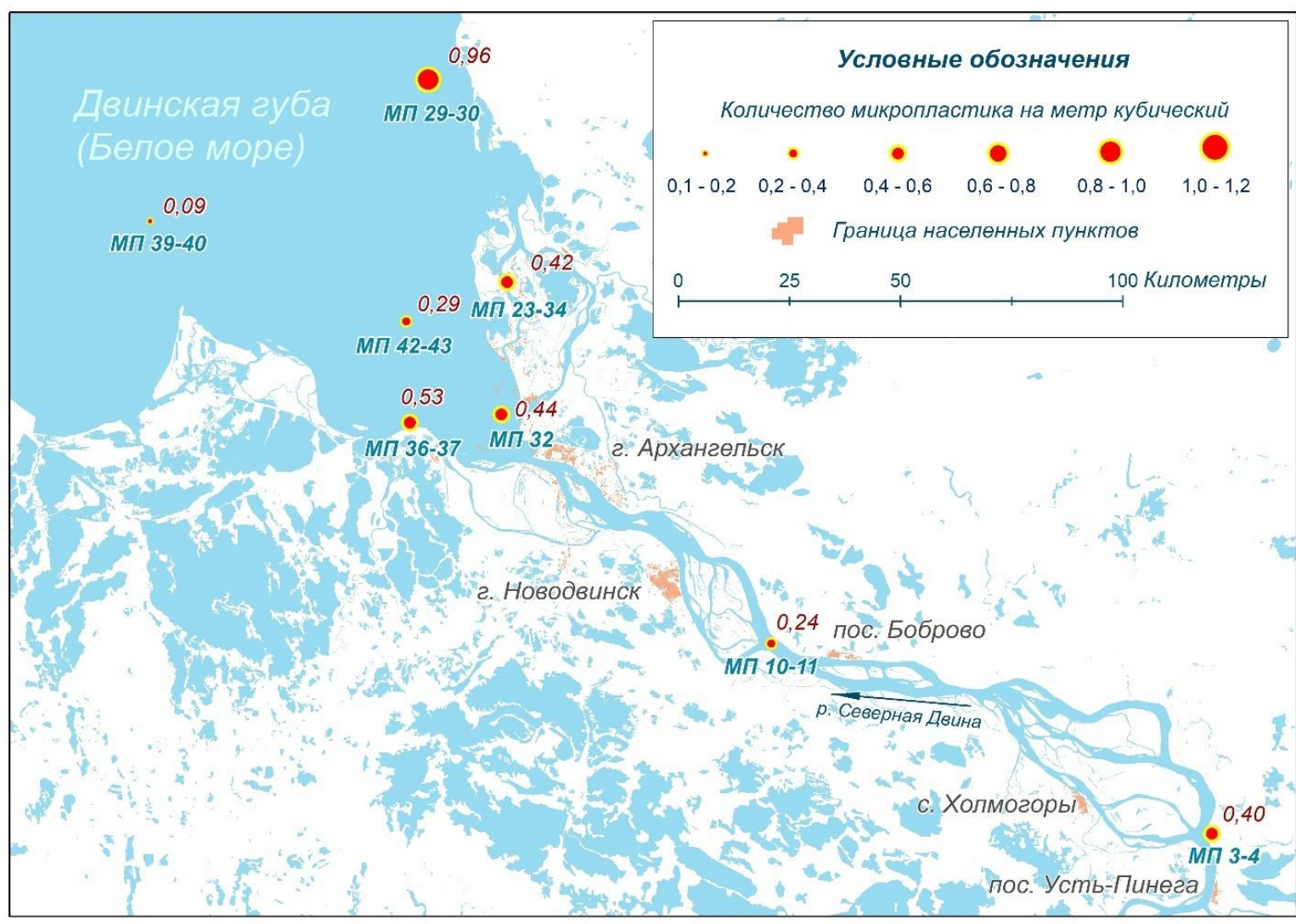
Удаление органических материалов: проба переносится в 2-л стеклянный стакан, установленный на магнитной мешалке с подогревом, добавляется 100 мл 30% гидроксида натрия, нагревается до 75-80°C и порциями вносится 30% раствор перекиси водорода до полного разложения органики

Визуальная идентификация и подсчет частиц микропластика производится на стереомикроскопе с увеличением 80х



Частицы микропластика обнаруженные в Маймакском рукаве ниже г. Архангельск

Вынос микропластика рекой Северная Двина



Обнаруженное содержание микропластика

максимум – 0.96 частиц/м³
(Сухое море)

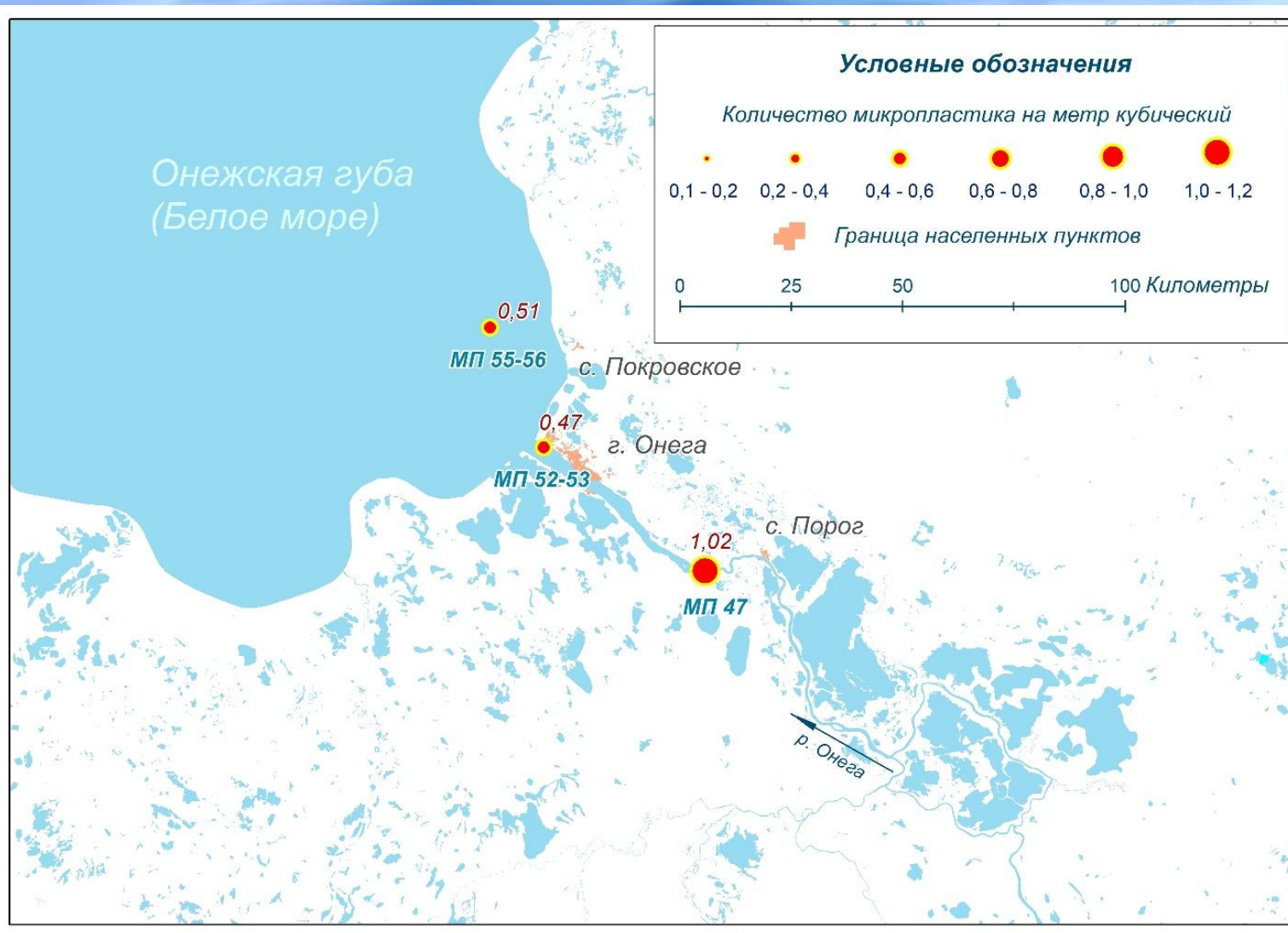
минимум – 0.09 частиц/м³
(Двинская губа, Белое море)

среднее – 0.42 частиц/м³

$Q_0 = 3420 \text{ м}^3/\text{с}$

$W_{\text{MP}} = 149.9 \text{ тонн/год}$

Вынос микропластика рекой Онега



Обнаруженное содержание микропластика

максимум – 1.02 частиц/м³ (в 50 км от устья)

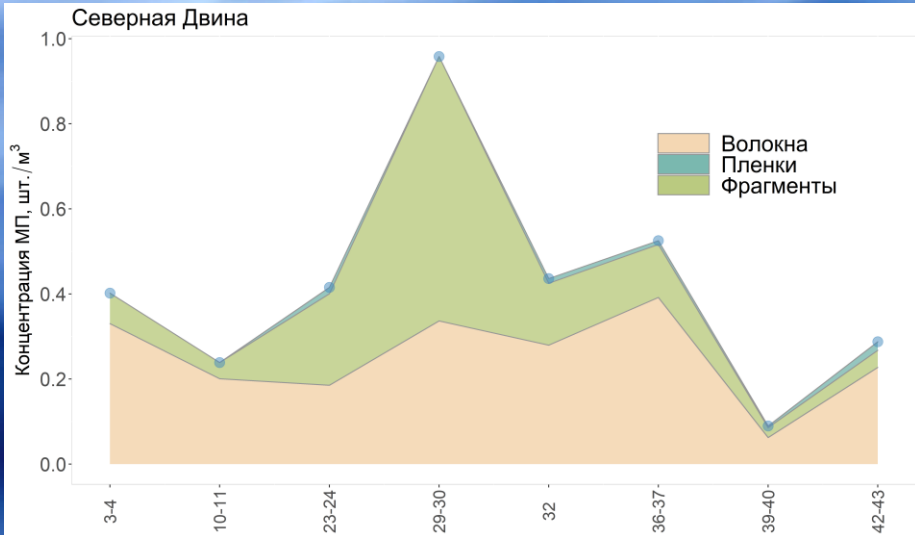
минимум – 0.47 частиц/м³ (в устье Онеги)

среднее – 0.67 частиц/м³

$Q_0 = 501 \text{ м}^3/\text{с}$

$W_{\text{MP}} = 43.0 \text{ тонн/год}$

Распределение различных типов частиц микропластика



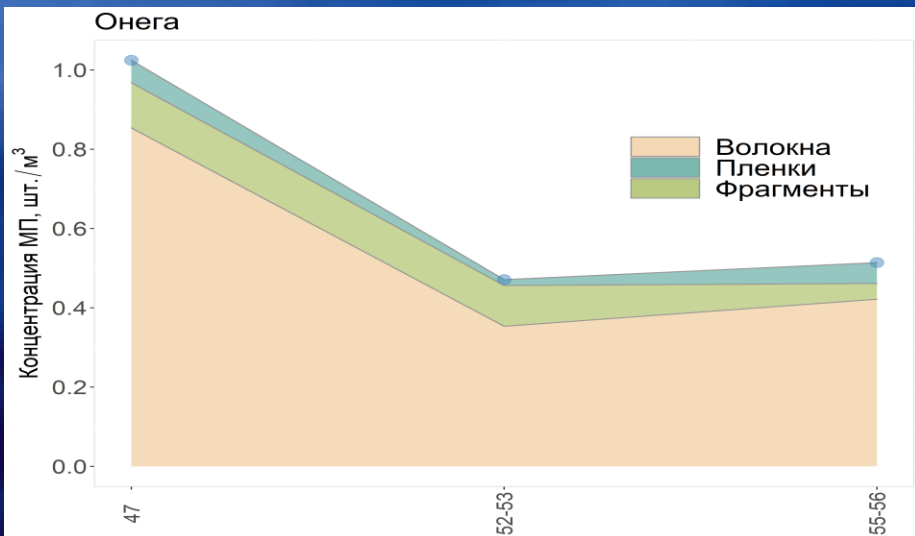
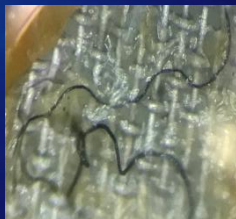
Фрагменты



Пленки



Волокна



Соотношение разных типов частиц не постоянно

Увеличение общего количества частиц для Северной Двины обусловлено ростом числа фрагментов, а для Онеги – волокон

Увеличение пропорции фрагментов на графике Северной Двины может свидетельствовать о появлении нового источника загрязнений

Соотношение типов частиц микропластика для Онеги такое же, как для самого верхнего исследованного участка Северной Двины

Выводы исследований по наличию в воде частиц микропластика



Микропластик обнаружен во всех отобранных пробах

Среднее содержание частиц микропластика

1. в реке и дельте Северной Двины 0.42 ч/м^3
2. в реке и дельте Онеги 0.67 ч/м^3

Оценка ежегодного выноса микропластика

1. рекой Северная Двина 149.9 т/год
2. рекой Онеги 43.0 т/год

Обнаруженный уровень загрязнений микропластиком значителен, но ниже чем для других европейских рек, и пока не может рассматриваться как опасный или определяющий на происходящие изменения климата

Реки Европы

Волга – до 4.11 ч/м^3
[Lisina et al, 2021]

Рэйн – до 11.1 ч/м^3
[Klein et al., 2015]

Эльба - до 13.2 ч/м^3
[Scherer et al., 2020]

Дунай - до 14.2 ч/м^3
[Liedermann et al., 2018]

Темза - до 24.8 ч/м^3
[Horton et al., 2017]



**Климатическая
экспедиция**

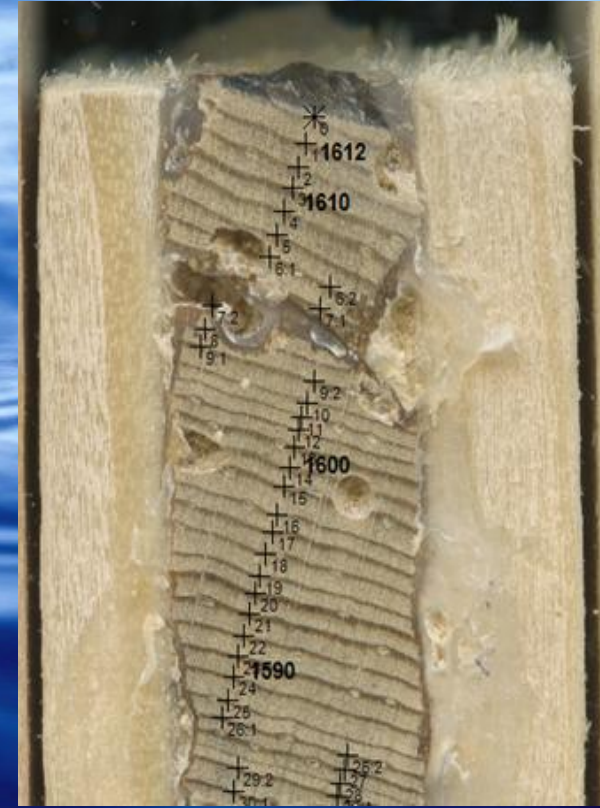
Дендрохронологические исследования в Архангельской области как основа для изучения истории климата и культуры региона

Необходимость дендрологических исследований



Годичные кольца деревьев являются уникальным источником информации о климате прошлого. Они позволяют получить данные с годичным и сезонным разрешением, и, в отличие от многих других архивов, обеспечивают хорошую повторяемость за счет использования нескольких деревьев для каждого года. Пространственные и полушарные количественные реконструкции температуры последнего тысячелетия, основанные на измерении различных параметров годичных колец деревьев – это одно из последних достижений дендроклиматологии. Дендроклиматические исследования были включены в проект "Климатической экспедиции", поскольку этот метод позволяет в течение короткого полевого сезона отобрать образцы, при дальнейшем лабораторном анализе которых можно получить данные об изменениях климата за продолжительные временные периоды.

Методика исследования и отбор проб



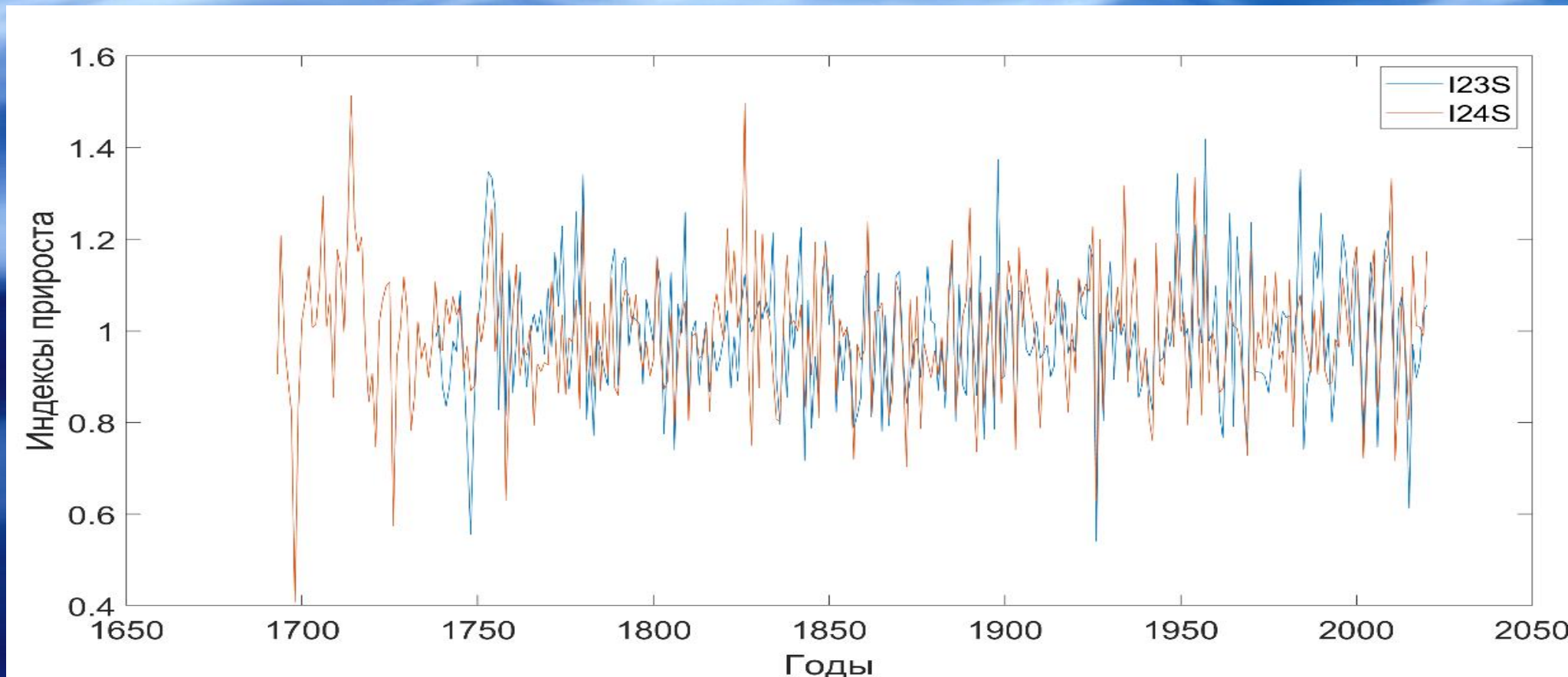
- Поиск старовозрастных деревьев и отбор образцов
- Измерение ширины годичных колец

Код площадки	Местонахождение	Широта	Долгота	Порода	Количество деревьев	Количество кернов
I23S	Архангельская обл., Сийский заказник	63.5226924	41.5654139	Pinus sylvestris L.	24	48
I24S	Архангельская обл., Онежский район	64.1069013	38.0253795	Pinus sylvestris L.	24	48

Для проведения исследования были выбраны две модельных локации – сосново-еловый лес в Сийском заказнике 12 км от правого берега Северной Двины и сосно-еловый лес на берегу Онежской губы, в 19 км от левого берега Онеги. Для отбора проб древесины на площадках выбирались наиболее старые деревья сосны обыкновенной.

Результаты исследований

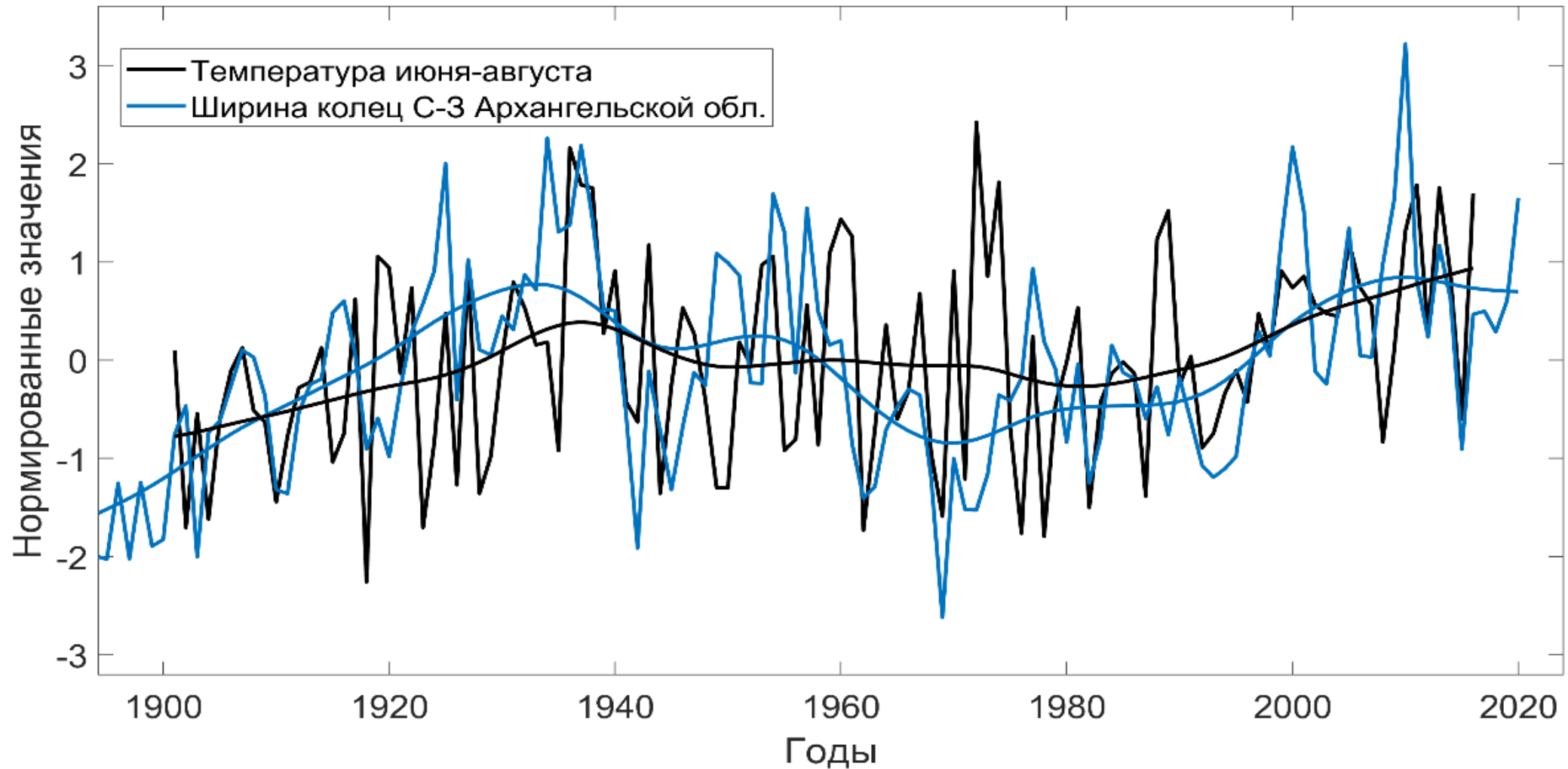
Новые древесно-кольцевые хронологии



Максимальный возраст исследованных деревьев – 288 и 328 лет. Период, покрытый полученными хронологиями: 1733 – 2020 гг. для I23S и 1693 – 2020 гг. для I24S.

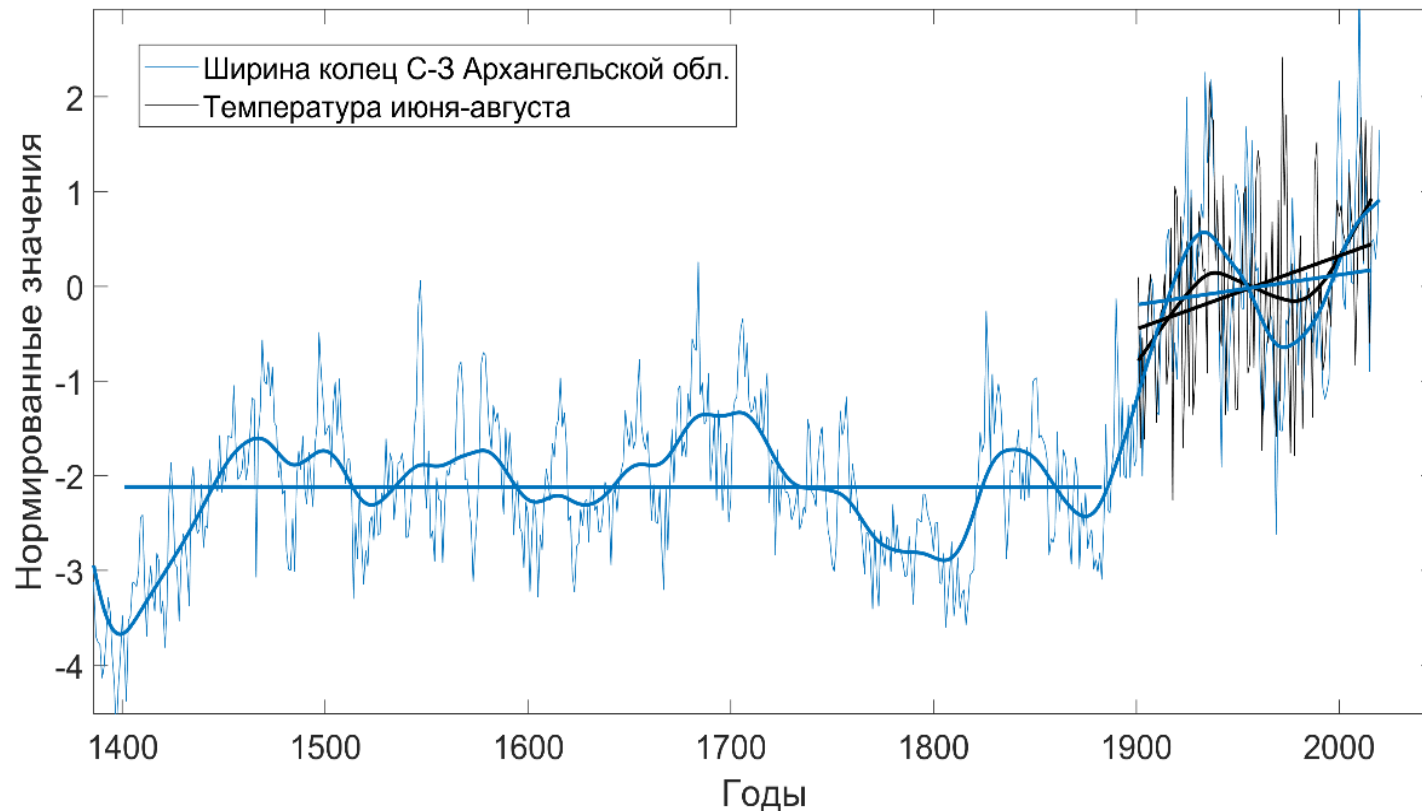
Результаты исследований

Связь ширины колец с тенденциями изменения температуры в регионе



Результаты исследований

Тенденции изменения температуры в регионе за 600 лет



Дополнение вновь собранных материалов данными, полученными в лаборатории дендрохронологии Института географии РАН в течение последних восьми лет, позволили построить непрерывную древесно-кольцевую хронологию длиной 654 года (1367-2020 гг.). Полученные данные свидетельствуют, что на протяжении 15-18 веков и первой половины XIX века летние температуры в исследуемом регионе в среднем были ниже, чем в XX-м веке.

Начиная со второй половины XIX века летняя температура начала постепенно повышаться, и этот процесс продолжается до сих пор.

Результаты исследований

Датировка объектов культурного наследия



Построенные дендрошкалы также являются наиболее точным независимым источником естественно-научных датировок деревянных артефактов в регионе. Они помогли подтвердить датировки, а также датировать новые объекты культурного наследия региона – дом Бажениных в селе Вавчуга (1754 год, последующие перестройки 1821 и 1884 гг.), ц. Николая Чудотворца в деревне Абрамовская (1638 г.), икона Дмитрий Солунский с житием (1596 г.).

Выводы на базе дендрохронологических исследований



- Материалы, полученные в ходе экспедиции, заложили основу многопрофильным исследованиям истории климата и культуры региона
- Климатические тенденции, восстановленные на основе построенных хронологий ширины годичных колец говорят о значительно более теплых условиях лета в 20-м веке по сравнению с XV-XIX вв.
- На основе полученных древесно-кольцевых хронологий были подтверждены датировки объектов культурного наследия региона – деревянных церквей, жилых домов и икон.
- Ожидаемые направления развития исследований
 - измерение оптической плотности годичных колец для получения более точных оценок изменения температуры в прошлом
 - датирование новых объектов исторического и культурного наследия региона

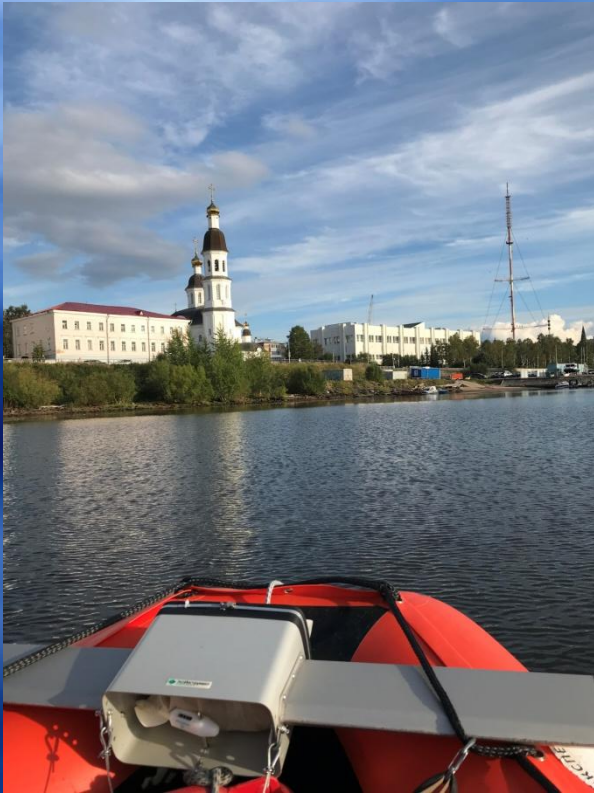
Климатическая экспедиция Российского экологического общества



**Климатическая
экспедиция**

Выводы и прогнозы по результатам проведенной экспедиции

Выводы



Анализ трендов зимней приземной температуры воздуха в северном климатическом регионе ЕТР показал, что, несмотря на заметную межгодовую изменчивость, в регионе наблюдается устойчивый рост зимней температуры со скоростью $0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$ за десять лет.

Положительный тренд отмечается как в целом по региону, так и на отдельных станциях. На станции Архангельск рост зимних температур составляет $0.15\text{ }^{\circ}\text{C}$ за десять лет.

В последние десятилетия в Архангельской области хорошо выражена положительная тенденция увеличения продолжительности теплого периода с температурой воздуха выше $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Климатические тенденции, восстановленные на основе дендрохронологических исследований, говорят о значительно более теплых условиях летнего периода в последние десятилетия по сравнению с XV-XIX вв.

Выводы

В низовьях рек наиболее значимые изменения наблюдаются в сроках появления льда и начала весеннего ледохода. Продолжительность ледостава в низовьях рек Северная Двина и Онега за последние 30 лет сократилась на 10-14 суток.

В сочетании с прогнозируемым ростом температуры воздуха уменьшение периода ледостава может отразиться на минерализации речных вод, pH, содержании растворенного кислорода. Рост первичной продуктивности в связи с усилением прогрева речных вод скажется на содержании биогенных веществ (азота и фосфора), а также содержании органических веществ.

Потепление климата, обусловленное ростом повторяемости южных циклонов, способствует уменьшению количества и мощности, но повышению динамики ледового покрова Белого моря. Это приведёт к более интенсивным процессам взаимодействия припайных льдов с берегами и усложнению характера припайного льда.

Многие беломорские острова «морского» типа, которые во время сильных штормовых нагонов практически скрываются под волнами, в результате изменения ледового режима и подъёма уровня моря могут исчезнуть с лица Земли.

Прогнозы

Исследование многолетних колебаний климата на севере Архангельской области свидетельствует о его существенных изменениях в последние десятилетия. Они проявляются в перестройке режима температуры приземного воздуха и атмосферных осадков, общей циркуляции атмосферы и других показателей. С ростом температуры воздуха увеличивается продолжительность теплого периода, что предполагает определенную перестройку гидрологического режима рек.

Прогнозы ученых свидетельствуют о том, что антропогенное влияние на содержание парниковых газов в атмосфере может привести к существенным изменениям климата Архангельской области. При наименее благоприятном сценарии выбросов парниковых газов рост средней годовой температуры воздуха к 2100 г. по сравнению с серединой XX в. может составить до 4-5°C. Более заметное увеличение температуры может проявиться в теплый сезон. Годовое количество атмосферных осадков может возрасти в среднем на 50-100 мм, в основном за счет осадков теплого периода (в холодный сезон количество осадков может уменьшиться). Также за счет повышения температуры воздуха возможно увеличение числа дней со средней суточной температурой около 0°C. В этом случае повышается вероятность выпадения осадков в смешанном виде, что может привести к росту повторяемости гололедно-изморозевых явлений и оттепелей.

Прогнозы

На основе климатических моделей получено, что к концу XXI в. в результате увеличения количества осадков годовой сток может увеличиться на 20—60% и даже больше. Из-за потепления возможно уменьшение снеготазов к моменту начала половодья и увеличение количества осадков весной, с апреля по июнь. При этом согласно проведенным расчетам возможно увеличение стока в период половодья, однако, несмотря на увеличение объема стока максимальные расходы воды будут меньше.

Вследствие увеличения осадков и существенного повышения температуры зимой ожидается значительное увеличение зимнего стока (пять моделей из семи прогнозируют его увеличение в 1,7—2,4 раза). Из-за вызванного потеплением увеличения испарения увеличение летне-осеннего стока предполагается незначительным.

В замыкающих створах рек Онега и Северная Двина наибольшим изменениям может подвергнуться период замерзания, со смещением сроков наступления фаз ледового режима на 2-3 недели, что необходимо учитывать при организации ледовых переправ, окончания навигации и пр.

Рекомендации

- Проведение НИР по разработке сценариев адаптации хозяйственной деятельности в регионе к различным вариантам изменений климата.
- Мониторинг качества воды, включая величину содержания микропластика, в низовьях Северной Двины. Контроль за работой очистных сооружений.
- Оценка экологического состояния водных экосистем с учетом изменения температурного и кислородного режима.
- Проведение берегоукрепительных работ для повышения безопасности различных береговых сооружений на размываемых участках берега Белого моря. Выявление и картирование таких участков на основе сценариев климатических изменений и роста уровня моря и повторяемости штормовых нагонов.
- Разработка новых методик долгосрочного и краткосрочного прогноза характеристик ледового и термического режима рек с учетом наблюдающихся климатических изменений.