

**ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА В РОССИЙСКОЙ АРКТИКЕ:
ИССЛЕДОВАНИЯ В РАМКАХ ПРОЕКТА "КЛИМАТИЧЕСКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ
РОССИЙСКОГО ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА"
В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ В 2021 ГОДУ**

*Н.Л.Фролова, М.Ю.Лычагин, А.А.Сазонов, А.А.Лисина, Ф.А.Романенко,
Г.В.Суркова, В.В.Мацковский, М.М.Платонов, О.И.Ломаков*

В последние десятилетия усиливается освоение Арктики, увеличивается заселенность ее территорий, возрастает антропогенная нагрузка на арктические экосистемы, что отражается на состоянии природной среды. В условиях чрезвычайно высокой уязвимости экосистем севера особую озабоченность вызывают накопление отходов, угрозы нефтяного, химического и радиоактивного загрязнения. Наибольшее загрязнение связано с последствиями функционирования предприятий по добыче и переработке полезных ископаемых и транспортно-энергетических объектов.

Исследования последних лет показали, что в условиях длительного и продолжающегося антропогенного воздействия на экосистемы Российской Арктики возрастает риск их деградации [Никаноров и др., 2012, Черногаева и др., 2019]. Отмечается усиление вызванных деятельностью человека процессов в водных объектах арктического региона [Моисеенко, 2018], таких как токсическое загрязнение вод, эвтрофирование (цветение), закисление и других, что приводит к нарушению хрупкого экологического равновесия в арктических экосистемах.

Арктика в значительной мере формирует климат всей планеты, поэтому состояние окружающей среды в Арктике является одновременно и важным индикатором глобальных изменений. В последние десятилетия в Арктическом регионе отмечается рост температуры, темпы которого выше, чем в других районах мира, как в среднем за год, так и во все сезоны. Следовательно, изменения климата наиболее заметны именно в Арктике, одним из девяти регионов которой на карте России является Архангельская область.

Развитие экономики этого региона тесно связано с морскими портами в устьях рек, а жизнь людей – с речными долинами. Изменения гидрологического режима вследствие

климатических изменений могут привести к целому ряду последствий, возможно даже негативных.



Фото 1. Долина реки Кянда в Архангельской области

В рамках проекта «Климатическая экспедиция» были проведены камеральные исследования многолетних колебаний температуры и осадков в Архангельской области, изменений водного и ледотермического режима рек Северная Двина и Онега, динамики развития берегов Белого моря. В августе 2021 г. в ходе экспедиционной части проекта в Архангельской области проведены дендрохронологические исследования в старовозрастных хвойных лесах, не тронутых человеком, а также гидрохимические и экологические исследования, включая оценку содержания микропластика (как фактора, способного повлиять на изменение климата) в пределах устьевых участков рек Северная Двина и Онега и прибрежной территории Двинского залива Белого моря. Исследования рек проведены специалистами Фонда «Без рек как без рук» - партнера РЭО по выполнению проекта, при участии ученых географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

Дендрохронологические исследования выполнены специалистами лаборатории дендрохронологии Института географии РАН.

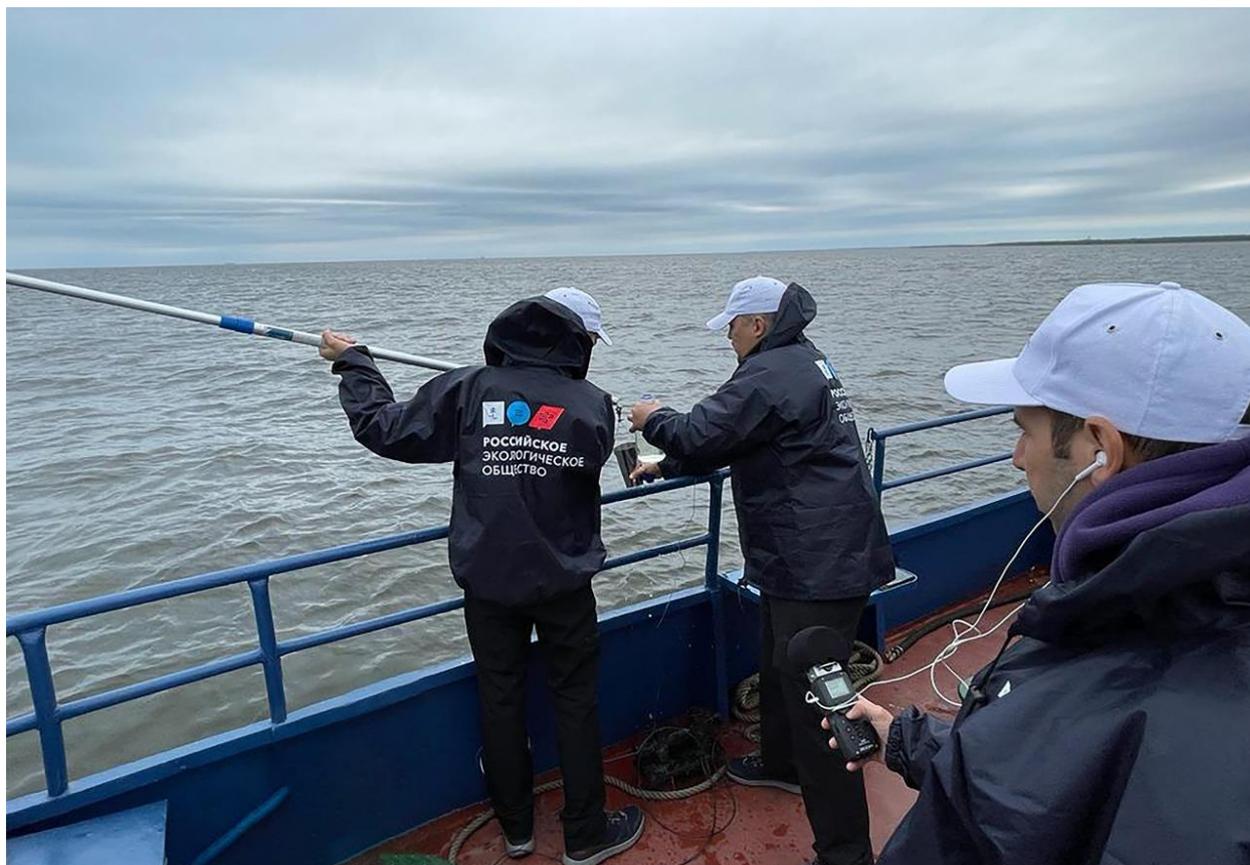


Фото 2. Отбор проб в Белом море

Гидроклиматические изменения

Исследования многолетних колебаний климатических характеристик в бассейнах рек Архангельской области говорят о существенных изменениях, тенденции которых достаточно устойчивы. Анализ скорости изменения средней температуры по сезонам, проведенный для севера Европейской территории России (ЕТР), показал, что наименьший рост температуры происходит летом и осенью, наибольший – весной. Средняя годовая скорость потепления убывает с севера на юг. С ростом температуры воздуха увеличивается продолжительность теплого периода, что предполагает определенную перестройку гидрологического режима рек.

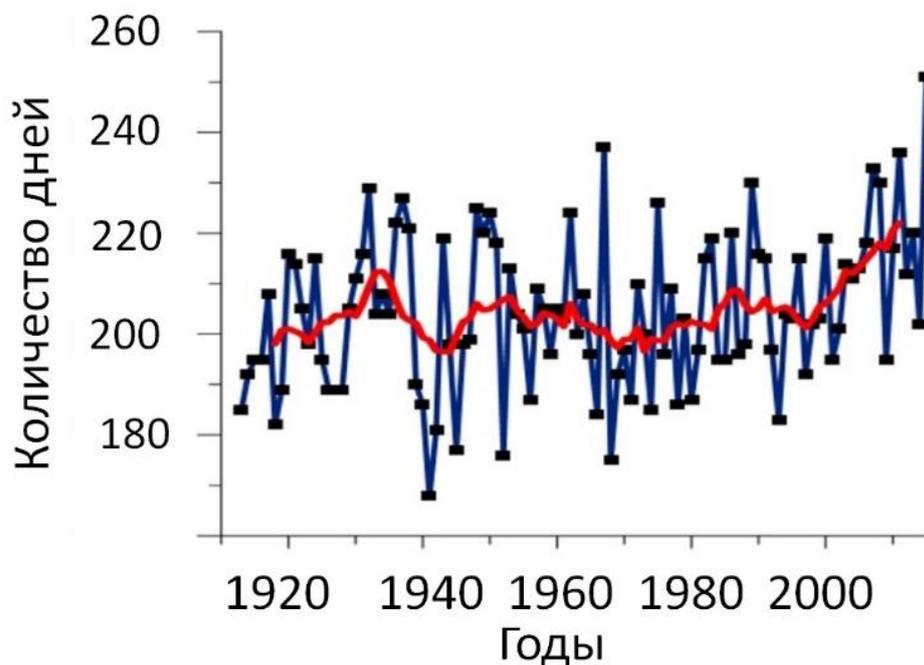


Рис.1. Изменение продолжительности периода с температурой выше 0°С на севере ЕТР

Анализ изменений стока и водного режима р. Северная Двина по данным наблюдений за 74 года на замыкающем гидрологическом посту в с. Усть-Пинега показал, что период пониженной водности, пришедшийся на третью четверть XX в., закончился около 1982 г., после чего начался период повышенной водности, продолжающийся до наших дней. Для Онеги также характерно чередование многоводных и маловодных периодов. В период 1990-2018 гг. в бассейне наблюдался повышенный сток воды по сравнению со средними многолетними значениями.

Более значительные изменения произошли в ледотермическом режиме рек. В низовьях р. Северная Двина они проявляются в дате начала весеннего ледохода. Продолжительность ледостава за последние 30 лет сократилась суммарно на 10 суток и в среднем составляет 161 день. На р. Онега значительно изменились сроки появления льда и начала весеннего ледохода, период ледостава сократился в среднем на 2 недели. В низовьях р. Северная Двина отмечается рост температуры воды в последние десятилетия XX в. и первые десятилетия XXI в. Он особенно заметен в последние декады мая, июня, августа и сентября, когда разница температур воды с предыдущими декадами может достигать 1-2°С. Для р. Онега также характерно увеличение температуры воды в течение теплого периода на протяжении 2-й половины XX в. и, особенно, начала XXI в.

Тенденции изменения берегов Белого моря

Потепление климата Беломорья связано с ростом повторяемости южных циклонов, способствующих уменьшению мощности, но увеличению изменчивости ледяного покрова. Данное обстоятельство будет способствовать более интенсивным процессам взаимодействия припайных (неподвижных) льдов с берегами. Многие беломорские острова «морского» типа (валунные корги, песчаные гряды и др.), которые во время сильных штормовых нагонов практически скрываются под волнами, в результате изменения ледового режима и подъёма уровня моря могут исчезнуть с лица Земли. Для динамики очень мозаичных берегов Белого моря очень важны локальные факторы: расположение конкретного участка берега, погодные условия не только конкретного года, но и сезона, шторма, нагона. Результаты таких кратковременных изменений здесь могут быть соизмеримы с вековыми тенденциями.



Фото 3. Остров Кий в Белом море

Дендрохронологические исследования

В рамках «Климатической экспедиции» на двух дендрохронологических площадках в старовозрастных лесах на северо-западе Архангельской области был проведен отбор образцов из сосны обыкновенной, по 24 дерева на каждой площадке.

Исследования позволили получить образцы годичных колец деревьев с 1693 г. и построить хронологии по ширине годичных колец для западной части Архангельской области длиной 288 и 328 лет. Дополнение вновь собранных материалов данными, полученными в лаборатории дендрохронологии Института географии РАН в течение последних восьми лет, позволило построить непрерывную древесно-кольцевую хронологию длиной 654 года (1367-2020 гг.). Эта хронология имеет слабую корреляцию с температурой летнего периода по инструментальным данным на уровне межгодовой изменчивости ($r=0,36$, 1901-2016 гг.), но связь значительно усиливается для сглаженных значений ($r=0,76$), что говорит о возможном присутствии в ширине годичных колец температурного сигнала на уровне долговременной изменчивости. Тренды изменения ширины годичных колец и летней температуры за общий период (1901-2016 гг.) также совпадают. Дополнительным подтверждением наличия долговременного температурного сигнала служит сходство построенной Архангельской хронологии с Соловецкой хронологией для периода 1400-1750 гг., а также сходство с реконструкцией температур теплого периода для Северного полушария за период 1452-2014 гг.

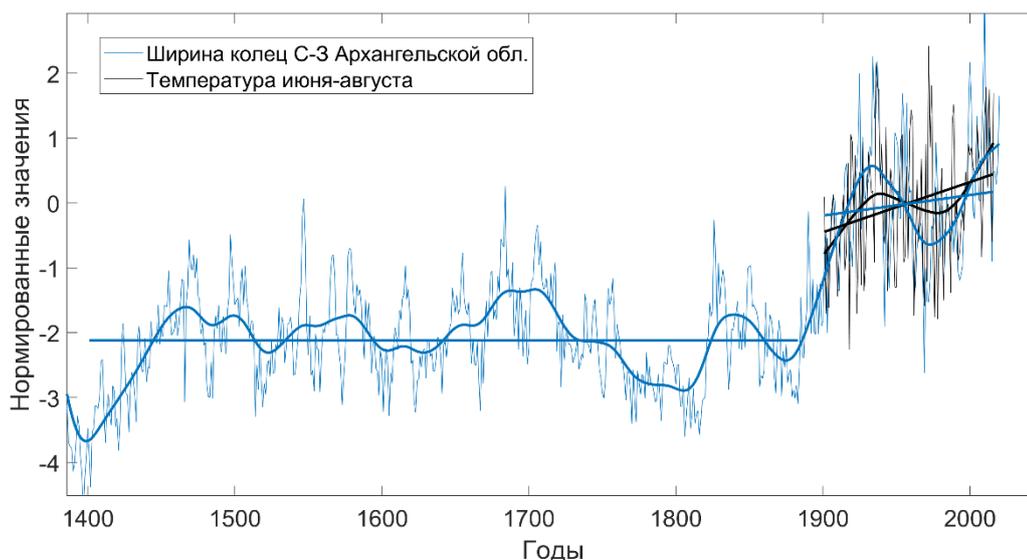


Рис. 2 – Долгопериодная изменчивость ширины годичных колец сосны северо-запада Архангельской области и ее сравнение с инструментальными данными летней температуры воздуха. Показаны межгодовая изменчивость, значения, сглаженные 50-летним сплайном, а также линейные тренды за периоды 1401-1883 гг. и 1901-2016 гг.

На основе хронологии ширины годичных колец северо-запада Архангельской области можно сделать предположение о наличии небольших циклических флуктуаций летней температуры и общего нейтрального тренда за период 1452-1883 гг., контрастирующего с положительным трендом, наблюдаемым со второй половины XIX века. Иначе говоря, мы предполагаем, что на протяжении XV-XVIII веков и первой половины XIX века летние температуры в исследуемом регионе в среднем были ниже, чем в XX-м в. Начиная со второй половины XIX века летняя температура начала постепенно повышаться, и этот процесс продолжается до сих пор.

Построенные дендрошкалы 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.).

Прогностические оценки изменения климата

Прогнозы, выполненные на основе результатов математических моделей климатической системы для периода от настоящего времени до 2100 г., свидетельствуют о том, что антропогенное влияние на содержание парниковых газов в атмосфере может привести к существенным изменениям климата региона. При наименее благоприятном сценарии выбросов парниковых газов рост средней годовой температуры воздуха к 2100 г. по сравнению с серединой XX в. может составить до 4-5⁰ С. Более заметное увеличение температуры может проявиться в теплый сезон.

Годовая амплитуда температуры воздуха повсеместно будет уменьшаться на 4-6⁰ С. Сумма положительных температур за год может возрасти на 500-700 градусо-дней, а число дней в году с отрицательной температурой уменьшится на 30-50 сут. Годовое количество атмосферных осадков может возрасти в среднем на 50-100 мм, в основном за счет осадков теплого периода, а в холодный сезон количество осадков может уменьшиться. За счет повышения температуры воздуха возможно увеличение числа дней со средней суточной температурой около 0⁰ С. В этом случае растет вероятность выпадения осадков в смешанном виде, что может привести к росту повторяемости гололедно-изморозевых явлений, а также оттепелей.

Расчеты по гидрологическим моделям показывают, что к концу XXI в. в результате увеличения количества осадков годовая сток может увеличиться на 20—60% и даже больше. Из-за потепления возможно уменьшение снеготпасов к моменту начала половодья и

увеличение количества осадков весной, с апреля по июнь. Согласно проведенным расчетам, возможно увеличение стока в период половодья, однако, несмотря на увеличение объема стока, максимальные расходы воды будут меньше. В зимний период ожидается значительное увеличение стока (пять моделей из семи прогнозируют его увеличение в 1,7—2,4 раза) вследствие роста количества осадков и существенного повышения температуры воздуха. Из-за вызванного потеплением роста испарения увеличение летне-осеннего стока предполагается незначительным. Оценки показывают, что 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.

Гидрохимические особенности объектов исследования

Климатические изменения приводят к изменению большинства характеристик водных объектов. Вслед за изменениями водного, термического и ледового режима рек изменяется и их гидрохимический режим, что может отразиться на состоянии водных экосистем и существенно повлиять на показатели водопользования. Для понимания интенсивности и масштабов происходящих изменений необходим мониторинг физических показателей и химического состава речных вод.

Объектами исследования по проекту «Климатическая экспедиция» Российского экологического общества послужили бассейны рек Онега и Северная Двина.

Онега - река на северо-западе России, ее верховья принадлежат Вологодской, а основное течение и большая часть бассейна - Архангельской области. Длина реки составляет 416 км, площадь водосбора – 56,9 тыс. км². На берегах реки расположены два города: Каргополь (в верхнем течении) и Онега (в устье) и несколько десятков сел. В целом регион является слабо освоенным, хозяйственное воздействие на водные объекты незначительно. 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 увеличивают общую минерализацию речных вод.



Фото 4. Берег реки Онеги в районе исследований

Бассейн *Северной Двины* расположен в северной части Восточно-Европейской равнины. Он граничит с бассейнами рек Мезени и Печоры на востоке, Онеги – на западе и Волги – на юге. Длина реки составляет 744 км, площадь водосбора – 357 тыс. км². Река образуется слиянием рр. Сухона и Юг у г. Великий Устюг, впадает в Двинский залив Белого моря. Вдоль Северной Двины на всем протяжении имеется огромное множество населённых пунктов. Наиболее крупные из них: Великий Устюг, Котлас, Архангельск – областной центр, расположен в начале дельты Северной Двины. Это один из наиболее густонаселённых и освоенных в хозяйственном отношении речных бассейнов Арктики. На его территории проводится заготовка леса и переработка древесины. Реки бассейна нередко являются единственным источником водоснабжения городов, поселков и населенных пунктов, а также водоемких предприятий целлюлозно-бумажной промышленности.

Ретроспективный и современный гидрохимический анализ, диагностика качества воды водных объектов бассейна Онеги проводились, начиная с 1977 г. Анализ опубликованных результатов показывает, что главной особенностью рек бассейна Онеги является большое содержание органических веществ, характеризуемое показателями бихроматной окисляемости (ХПК) и БПК₅. Это в целом свойственно рекам таежной зоны, водосборы которых в значительной степени заболочены. Органические вещества поступают в реки с болотными и почвенно-грунтовыми водами в форме органо-минеральных соединений гумусовых кислот с Fe, Al, Mn и другими металлами. Повышенное содержание этих металлов в речных водах характерно и для фоновых участков бассейнов, в наименьшей степени затронутых антропогенным воздействием. В связи с этим нередко отмечаемое

несоответствие качества вод р. Онеги рыбохозяйственным нормативам во многих случаях свидетельствует не об их загрязнении, а о несовершенстве существующей системы нормирования.

Химический состав речных вод в бассейне Северной Двины во многом сходен с бассейном р. Онеги: в них также повышено содержание органических веществ, Fe, Al, Mn. Их особенностью является повышенное содержание сульфатов, связанное как с широким распространением гипсоносных пород (например, в бассейне р. Пинеги), так и с загрязнением сточными водами промышленных предприятий. На отдельных участках рек, особенно в нижнем течении Сев. Двины, отмечаются относительно высокие содержания нефтепродуктов, фенолов, формальдегида, лигносульфонатов, метанола, тяжелых металлов, аммонийного и нитритного азота.

При характеристике значений и распределения универсального комплексного индекса загрязнения воды (УКИЗВ) в бассейне Северной Двины в последние годы обнаружены существенные изменения, отражающие улучшение качества воды: в ряде створов наблюдений произошло повышение от четвертого к третьему классу.

Результаты экспедиционных исследований

В августе 2021 года были проведены экспедиционные исследования в бассейнах рек Северной Двины и Онеги, направленные на выявление современных особенностей формирования химического состава речных вод. В период 17 – 22 августа 2021 г. было отобрано 57 проб воды (Рис. 3).

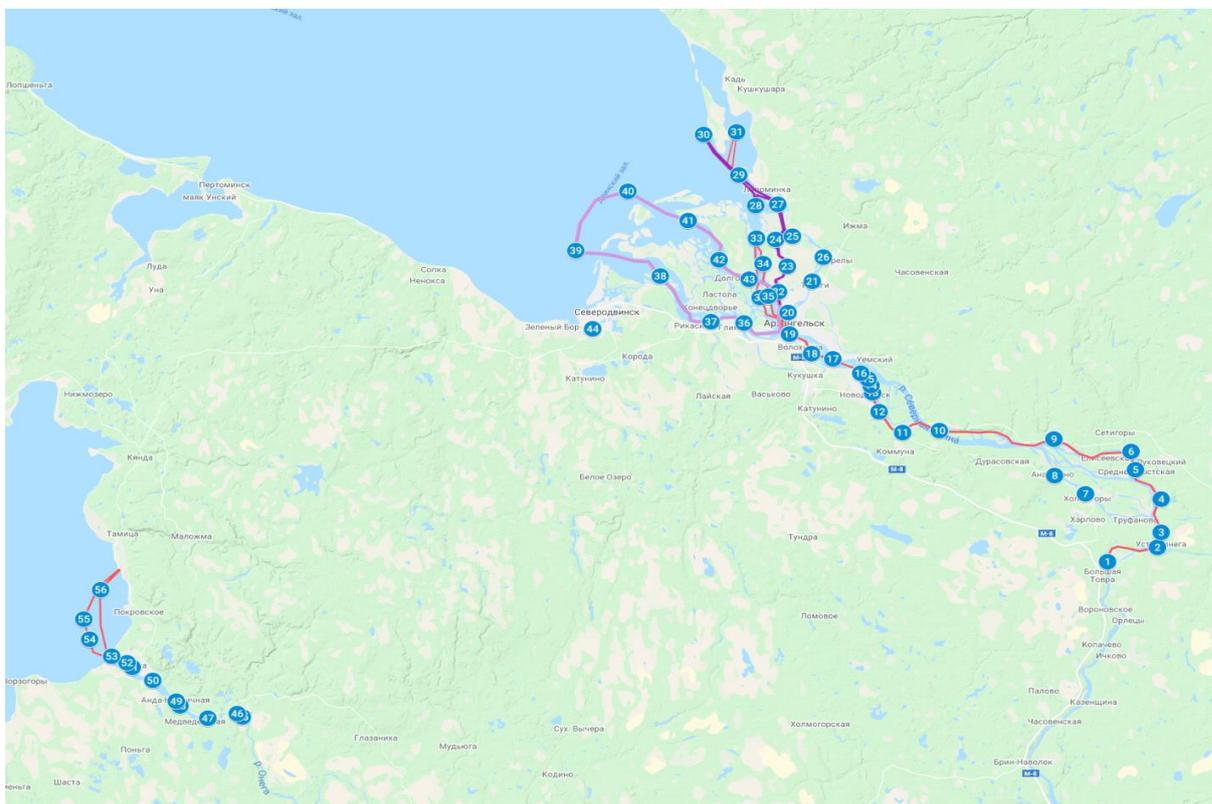


Рис. 3. Точки отбора проб воды в бассейнах Онеги и Северной Двины в рамках «Климатической экспедиции» 17-22.08.2021 г.

Результаты экспресс-анализов, проведенных в полевых условиях, показали, что содержание растворенного кислорода в водах обеих рек близко: в среднем оно составило 9,1 - 9,2 мг/л при диапазоне изменений 8,1-10,3 мг/л, что свидетельствует о благоприятном кислородном режиме реки. Реакция среды в обоих случаях слабощелочная, средние значения рН составляют 8,0 – 8,2. В Северной Двине они варьировали в пределах 8,0 – 8,5, в Онеге – 6,8 до 8,4. Относительно повышенные значения рН в Северной Двине, вероятно, связаны с более широким распространением карбонатных пород в ее бассейне.

Удельная электропроводность вод Сев. Двины на всем протяжении, включая дельту, составляет 400-500 мкСм/см. В Двинском заливе под влиянием морских вод она повышается до 20000-30000 мкСм/см, т.е. 10-15 г/л (‰). В среднем течении Онеги электропроводность речных вод не отличается от Сев. Двины, в нижнем – возрастает до 2000-5000 мкСм/см.

Для обеих рек характерно высокое содержание органических веществ, оцениваемое по значениям ХПК. Как уже отмечалось, они протекают в зоне избыточного увлажнения, их водосборы характеризуются значительной заболоченностью и большим поступлением органических веществ, в основном гумусового ряда. Величины ХПК изменяются в весьма широком диапазоне, в Северной Двине – от 12,3 до 114 мгО/л, в среднем 24,5 мгО/л, в Онеге – от 9,9 до 54,6 мгО/л, в среднем 26,2 мгО/л. Норматив ПДК по данному показателю для хозяйственно-питьевого водопользования составляет 15 мгО/л, он был превышен примерно в 15% отобранных проб. Максимальные значения ХПК отмечались на участках,

подверженных антропогенному воздействию, они могут иметь смешанное природно-антропогенное происхождение.

Содержание биогенных элементов (аммонийного, нитритного и нитратного азота, фосфора) и микроэлементов в речных водах низкое, в большинстве случаев не превышающее ПДК, что свидетельствует об отсутствии значительных источников их поступления и высокой самоочищающей способности рек. Высокое содержание кислорода в сочетании со значительными скоростями течения способствует тому, что элементы быстро окисляются до нерастворимых форм и выводятся из биогеохимического круговорота, не оказывая токсического воздействия на речные экосистемы.



Фото 5. Пробы речной воды на содержание микропластика

Одной из задач экспедиции 2021 г. являлся сравнительный анализ содержания и стока микропластика в двух крупнейших реках данного региона – Северной Двине и Онеге. Для этого было отобрано 11 проб.

Исследования последних лет, связанные с проблемой загрязнения водных систем микропластиком, фокусируются на реках как 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 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].

Процессы, влияющие на изменение количества микропластика в водах Арктики, достаточно сложны и малоизучены. Так, согласно работе, опубликованной российско-канадским коллективом авторов [Cluzard et al., 2015] на осаждение, распределение и накопление микропластика в донных отложениях влияет множество естественных факторов, таких как волновой режим, циркуляция водных масс, температурный режим, соленость воды, приход солнечной радиации и др. Эти 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

размножения организмов. Это может обусловить рост содержания органических и биогенных веществ в донных отложениях.

Температурный фактор является одним из определяющих в процессах биodeградации 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 в диапазоне от -2°C до $+35^{\circ}\text{C}$ самая высокая интенсивность биodeградации микропластика отмечалась при температурах 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 экосистем к усвоению парниковых газов.

Для отбора проб на содержание микропластика использовался комплект LEI-MANTA300 производства ООО «ЭкоИнструмент» с рукавами для фильтрации на 300 мкм. Данное устройство представляет собой прикрепляющуюся к судну сеть с ячейками размером 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. Фактический объем фильтруемых проб составлял от 25 до 130 м³, для их отбора затрачивалось от 30 до 120 минут.

Полученные результаты позволили охарактеризовать загрязнение микропластиком нижнего течения и устьевых областей рек Северная Двина и Онега (рис. 2-3). Полимерные частицы были обнаружены во всех пробах. Средние концентрации микропластика составили 0,42 шт./м³ в Северной Двине и 0,67 шт./м³ в Онеге. В Северной Двине концентрации изменялись в диапазоне от 0,09 до 0,96 шт./м³, в Онеге – от 0,47 до 1,03 шт./м³. В целом загрязнение микропластиком речных вод Северной Двины и Онеги относительно слабое – менее 1 шт./м³. Роль городов Архангельск и Онега как источников микропластика невелика, о чем свидетельствует отсутствие тенденции к росту содержания полимерных частиц в пробах, отобранных ниже по течению. По-видимому, загрязнение микропластиком носит не точечный, а диффузный характер.

Оценка выноса микропластика в Белое море показала, что при среднемноголетних расходах воды 3420 м³/с в Северной Двине и 501 м³/с в Онеге, годовой сток микропластика составляет 150 и 43 тонн/год соответственно. Несмотря на значительные величины выноса микропластика, при современных уровнях содержания в речных водах он не представляет серьезной угрозы для морских вод. Его содержание в Двинской и Онежской губах Белого моря оказалось ниже, чем в других арктических морях России [Ершова и др., 2020].

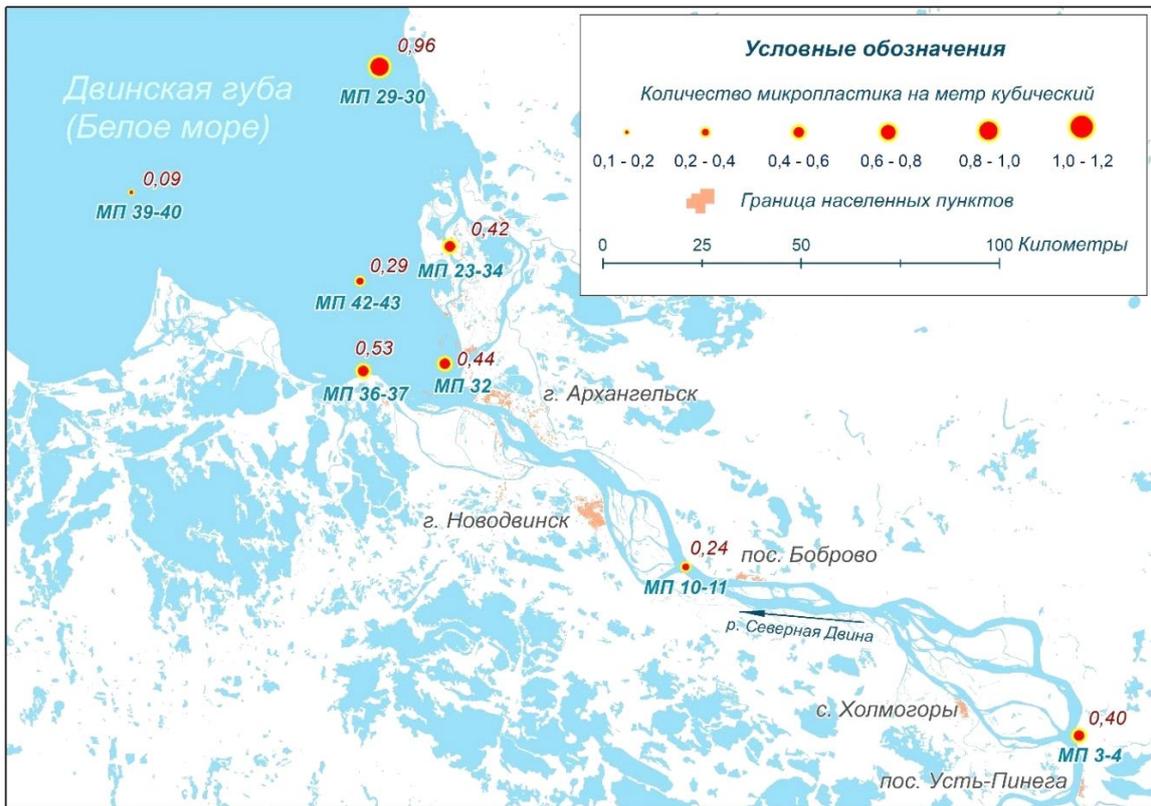


Рис. 4. Содержание микропластика в водах р. Северной Двины и Двинской губы

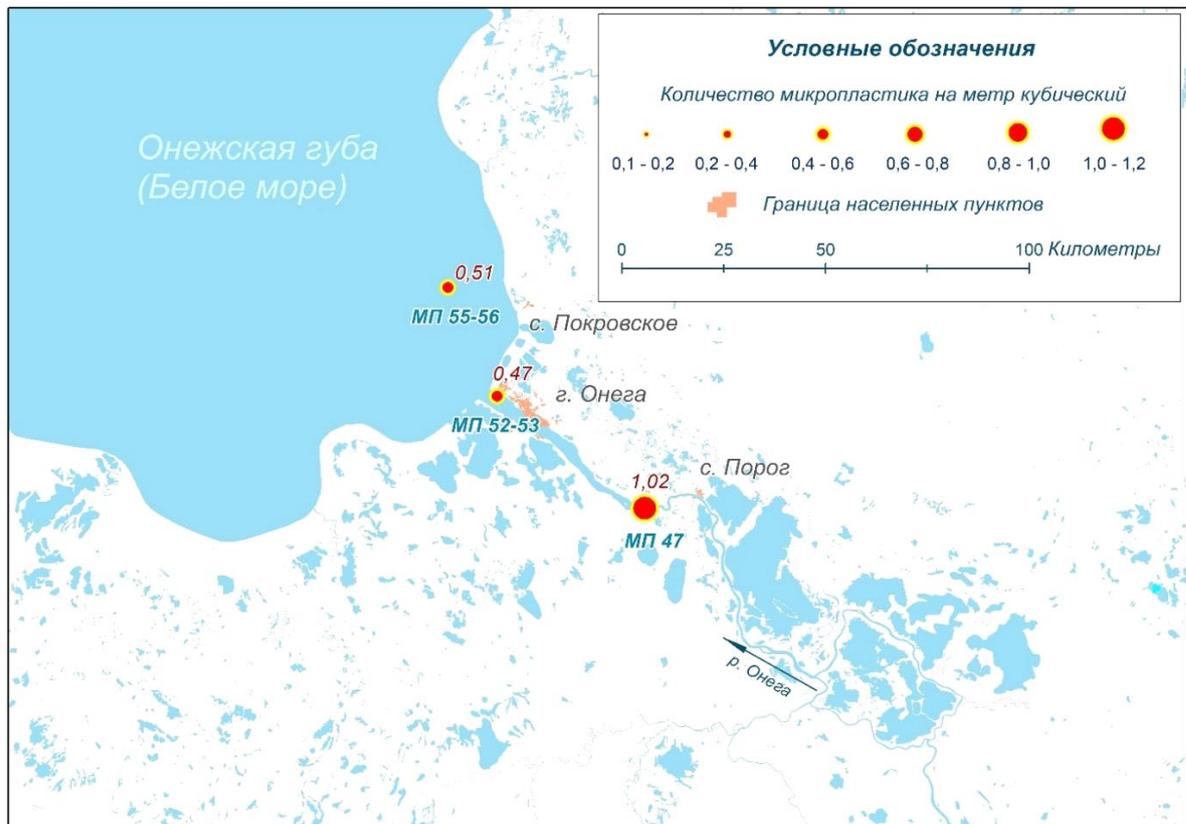


Рис. 5. Содержание микропластика в водах р. Онеги и Онежской губы

Выводы и прогнозы

В последние десятилетия в северном климатическом регионе ЕТР наблюдается устойчивый рост зимней температуры, скорость которого в среднем по региону составляет 0.2°C , по ст. Архангельск – 0.15°C за десять лет. В Архангельской области хорошо выражена тенденция увеличения продолжительности периода с температурой воздуха выше 0°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.

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 $4-5^{\circ}\text{C}$. 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). Из-за повышения температуры воздуха возможно увеличение числа дней со средней суточной температурой около 0°C , что обусловит рост повторяемости выпадения осадков в смешанном виде, гололедно-изморозевых явлений и оттепелей.

Потепление климата, обусловленное ростом повторяемости южных циклонов, способствует уменьшению мощности, но повышению динамики ледяного покрова Белого моря. Это приведёт к более интенсивным процессам взаимодействия припайных льдов с берегами и усложнению характера припайного льда. В результате изменения ледового режима и подъёма уровня моря многие беломорские острова «морского» типа, которые во время сильных штормовых нагонов практически скрываются под волнами, могут исчезнуть с лица Земли.

В результате увеличения количества осадков годовой сток рек к концу XXI в. может увеличиться на 20—60% и более. Возможно уменьшение снеготпасов к моменту начала половодья и увеличение количества осадков в весенний период. Ожидается значительное увеличение зимнего стока (пять моделей из семи прогнозируют его увеличение в 1,7—2,4 раза) вследствие увеличения осадков и существенного повышения зимних температур. Увеличение летне-осеннего стока из-за вызванного потеплением роста испарения предполагается незначительным.

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. Уменьшение периода ледостава в

сочетании с прогнозируемым ростом температуры воздуха может способствовать ускорению процессов разложения органических веществ в почвах водосборов и донных отложениях рек, что приведет к снижению содержания растворенного кислорода и ухудшению экологического состояния водных экосистем. В результате дальнейшего прогрева может произойти нарастание первичной продуктивности, что приведет к росту содержания органических и биогенных веществ.

Рекомендации

1. Необходима разработка сценариев адаптации хозяйственной деятельности в регионе к различным вариантам изменений климата.

2. При организации ледовых переправ и сроков навигации в низовьях рек необходимо учитывать возможное смещение сроков наступления фаз ледового режима на 2-3 недели.

3. На размываемых участках берегов Белого моря требуется проведение берегоукрепительных работ для повышения безопасности различных береговых сооружений. Необходимо выявление и картирование таких участков на основе сценариев климатических изменений и роста уровня моря и повторяемости штормовых нагонов.

4. Необходимо совершенствование программы экологического мониторинга рек Архангельской области с особым вниманием к изменениям температурного и кислородного режима, содержания органических и биогенных веществ.

5. Мониторинг гидроклиматических изменений наиболее эффективен в устьях рек от зоны отсутствия влияния морских вод до взморья, где преобладают морские воды. Это позволит отслеживать изменения не только речных, но и морских экосистем. В многоорукавной дельте Северной Двины желательно проводить мониторинг в нескольких рукавах, учитывая особенности гидрологического режима и приливно-отливных циклов.

6. Особое внимание следует обратить на загрязнение речных и морских вод микропластиком. Увеличение выноса микропластика речными водами может привести к снижению усвоения парниковых газов морской экосистемой, более интенсивной эмиссии парниковых газов в атмосферу и ускорению роста температур в Арктике. Для того, чтобы это предотвратить, необходима организация мониторинга содержания микропластика в речных и прибрежных морских водах.

Благодарность

Авторы выражают благодарность научному руководителю Климатической экспедиции РЭО д.ф.-м.н. А.С. Гинзбургу за содействие на разных этапах работы, в особенности при обсуждении научных результатов проекта.

Литература

- 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.
- 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.
- Кляцкая И.О., Гудков А.Б., Бобун И.И. Сезонные изменения качества поверхностных вод устьевого участка Северной Двины //Экология человека. 2008. №. 5.
- Котова Е.И. Гидрохимическая характеристика устьевой области р. Северная Двина // Современные проблемы эрозионных, русловых и устьевых процессов. 2016. С. 121-123.
- Котова Е.И. и др. Экологическая ситуация в устьевой области реки Северной Двины (Белое море) // Успехи современного естествознания. 2020. №. 5. С. 121-129.
- Кузнецов В.С., Мискевич И.В., Зайцева Г.Б. Гидрохимическая характеристика крупных рек бассейна Северной Двины Л.: Гидрометеиздат. 1991. 195 с.
- 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.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 3. Северный край. Л.: Гидрометиздат, 1972. 662 с.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.

- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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.
- 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

Авторы статьи

Н.Л.Фролова, доктор географических наук, профессор, заведующая кафедрой гидрологии суши географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, член Попечительского совета Фонда "Без рек как без рук"

М.Ю.Лычагин, кандидат географических наук, доцент кафедры геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова, член Попечительского совета Фонда "Без рек как без рук"

А.А. Сазонов, кандидат географических наук, старший преподаватель кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова, научный консультант Фонда "Без рек как без рук"

А.А.Лисина, студентка магистратуры кафедры гидрологии суши географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

Ф.А.Романенко, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник кафедры геоморфологии и палеогеографии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

Г.В.Суркова, доктор географических наук, профессор кафедры метеорологии и климатологии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова

В.В.Мацковский, кандидат географических наук, заведующий лабораторией дендрохронологии Института географии РАН

М.М.Платонов, кандидат химических наук, директор по науке некоммерческого фонда «Без рек как без рук»

О.И.Ломаков, руководитель некоммерческого фонда «Без рек как без рук»