

УДК 551.465

ИССЛЕДОВАНИЯ КОРОТКОПЕРИОДНОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ ГИДРОЛОГО-ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК УСТЬЯ РЕКИ КЯНДА В ОНЕЖСКОМ ЗАЛИВЕ БЕЛОГО МОРЯ (28 ИЮЛЯ–15 АВГУСТА 2016 г.)

© 2018 г. И. В. Мискевич¹, А. М. Алабян², В. Б. Коробов¹,
Н. А. Демиденко³, А. А. Попрядухин²

¹Институт океанологии им. П.П. Шишова РАН, Архангельск, Россия

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, Москва, Россия

³Государственный океанографический институт им. Н.Н. Зубова, Москва, Россия
e-mail: andrei_alabyan@mail.ru

Поступила в редакцию 17.05.2017 г., после доработки 25.12.2017 г.

Представлена информация о совместных исследованиях короткопериодной (приливной и синоптической) изменчивости гидрологических и гидрохимических показателей в мезоприливном устье р. Кянда в Онежском заливе Белого моря в летнюю межень 2016 г. Показано, что здесь хорошо прослеживаются полусуточные, суточные и синоптические колебания практически всех наблюдаемых показателей, имеющие значительные различия на разных створах устьевого участка реки.

DOI: 10.7868/S0030157418030036

В настоящее время короткопериодная изменчивость экосистем устьев рек Белого моря, включая их гидролого-гидрохимические параметры, изучена недостаточно. Ее здесь формируют приливные явления с полусуточным, суточным и полумесячным циклами, суточная активность солнца и синоптические процессы, для которых естественный период в европейской части РФ в среднем составляет 6 суток.

Для выявления особенностей гидролого-гидрохимического режима устья малой реки в летнюю межень 2016 г. сотрудниками Северо-Западного отделения Института океанологии им. П.П. Шишова РАН (СЗО ИО РАН) и кафедры гидрологии суши Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова (МГУ) в ходе совместной экспедиции в период 28 июля – 15 августа был выполнен большой комплекс наблюдений в устьевой области р. Кянда, впадающей в юго-восточную часть Онежского залива Белого моря. Для СЗО ИО РАН выполненные работы явились логическим продолжением исследований, проведенных в 2014–2015 гг. на полигоне для изучения природных процессов в приливных устьях рек и параметризации разрабатываемых математических моделей [3–4].

Наблюдения, проводимые сотрудниками СЗО ИО РАН, в основном были ориентированы на изучение приливной и синоптической изменчивости гидролого-гидрохимических параметров. Работы

сотрудников МГУ были сконцентрированы на изучении пространственной изменчивости гидрологических показателей в течение приливного цикла. Необходимо отметить, что эти исследования органично дополнили друг друга, позволив сопоставить динамику гидрологических и гидрохимических параметров. Помимо полевых работ в устье р. Кянды сотрудники СЗО ИО РАН также провели исследования устья р. Ухты, а сотрудники МГУ – устья р. Тамицы. Все эти малые реки впадают в юго-восточную часть Онежского залива.

Река Кянда при впадении в Онежский залив формирует устьевую область, состоящую из устьевого взморья (Кяндского залива) и устьевого участка реки, характеризующегося меандрирующим руслом с отдельными разветвлениями. Ширина русла составляет 30–40 м, постепенно увеличиваясь в направлении моря, и достигает 100–120 м в районе устьевого створа во время прилива, глубина в отлив 0.2–0.3 м на перекатах и 1.5–2.0 м на плесах. Протяженность устьевого взморья по фарватеру составляет около 3 км, а устьевой участок реки имеет длину около 8 км, достигая места впадения правого притока р. Воя у автодорожного моста в селе Кянда (рис. 1).

Стационарные (рейдовые) наблюдения проводились в период с 28 июля по 15 августа 2016 г. с дискретностью 6 часов в 3 км выше устьевого створа р. Кянда (№ 5 на рис. 1) на участке локализации фронтального раздела зоны смешения

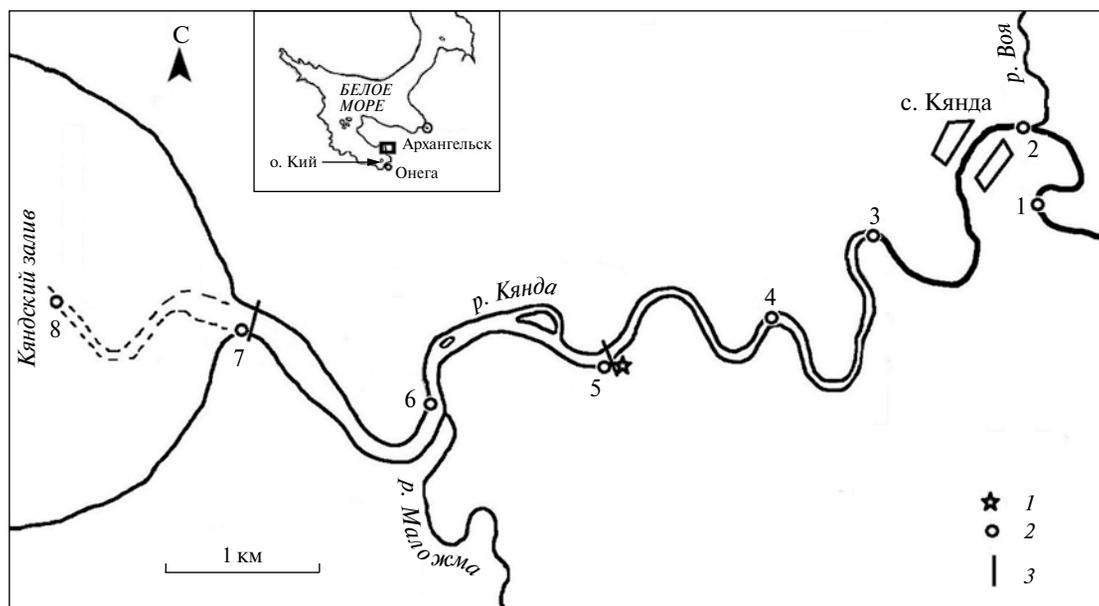


Рис. 1. Схема гидрометрических и гидрохимических измерений в устьевой области р. Кянда в июле–августе 2016 г. 1 – место гидрохимических наблюдений; 2 – места регистрации уровня воды; 3 – створы гидрометрических работ.

речных и морских вод. В состав наблюдений входило определение уровня, температуры и солёности воды, параметров течения, содержания взвешенных веществ и гидрохимических параметров (величина рН, кислород). В отличие от большинства предшествующих исследований на малых реках Беломорского бассейна такого рода наблюдения имеют значительно большее временное и пространственное разрешение, и в этом отношении являются пионерскими.

В приливные циклы 4–5 и 10–11 августа 2016 г. исследовалось движение приливной волны на устьевом участке реки от устьевого створа до 1 км выше места впадения реки Воя [1]. Первый цикл соответствовал сизигийному приливу, второй – квадратурному. Для регистрации колебания уровня воды на различном удалении от устьевого створа реки были установлены автономные записывающие устройства (“логгеры” фирм Solinst и Keller), запрограммированные на регистрацию данных каждые пять минут. Для приведения уровней к единой системе высот производился учет колебаний атмосферного давления и планово-высотная привязка логгеров с использованием дифференциальной системы спутникового позиционирования, состоящей из приемников Trimble 5700, Javad Triumph-VS и Javad Triumph-1. В устьевом створе и на удалении 3.0 км от него (у створа стационарных гидрохимических наблюдений) в течение приливного цикла были выполнены синхронные измерения расходов воды акустическими доплеровскими профилографами типа RiverRay фирмы

TeledyneRD-instruments. Измерения расхода воды производились через 30 минут, а при приближении экстремумов уровней и расходов – через 15 минут. Расчет расходов воды и средней скорости течения выполнялся непосредственно в ходе измерений с использованием программы WinRiver II.

В дополнение к вышеуказанным наблюдениям сотрудниками СЗО ИО РАН были выполнены два разреза на полной воде приливного цикла в сизигию и квадратуру от морской границы устья до зоны локализации речных вод. В состав этих наблюдений входили измерения температуры и солёности воды, величины рН и отборы проб воды на содержание взвешенных веществ, кислорода, БПК₅ и биогенных веществ (фосфатов, нитритов, нитратов и кремния). Сотрудниками МГУ также был произведен отбор проб воды для последующего определения биогенных веществ и тяжелых металлов.

Предварительный анализ полученных результатов показывает, что изменчивость исследуемых параметров в течение 2-х недель мониторинговых наблюдений летом 2016 г. формировалась под воздействием приливных (полусуточных, суточных и полумесячной) гармоник, суточного солнечного цикла и синоптических возмущений (несколько суток). При этом амплитуды колебаний измеряемых характеристик, вызываемых данными факторами, были сопоставимы между собой.

В ходе наблюдений были зафиксированы заметные различия в осолонении устьевых вод, изменениях величины рН и интенсивности фотосинтеза

в начальный и конечный отрезки периода наблюдений. Можно предположить, что их внутрисезонные изменения могут быть сравнимы с межсезонными колебаниями.

Разрезы вдоль устьевого участка реки, выполненные 4 и 11 августа, показали наличие заметных различий гидрологических и гидрохимических характеристик, разделенных недельным интервалом, т.е. сравнительно небольшим временным отрезком в рамках сезонной изменчивости. При сизигийном приливе (4 августа), которому предшествовала жаркая сухая погода, протяженность осолонения устьевого водотока на полной воде приливного цикла составила 9 км, при квадратурном приливе и дождливой погоде – около 5.5 км.

Содержания взвешенных веществ в квадратуру и сизигию в целом были сопоставимы, но их пространственные распределения имели различный характер. В сизигию наблюдалась “классическая картина”, отражающая снижение концентраций взвесей по мере осолонения устьевых вод. В квадратуру при штормовой погоде в Онежском заливе их максимум с речной границы устья реки сместился к границе устьевого взморья (к Кяндской губе) и устьевого участка реки и понижения степени взмучивания донных отложений приливных осушек за счет уменьшения их площадей и ослабления скоростей приливо-отливных течений.

В характере изменения величины рН при выполнении разрезов наблюдались кардинальные изменения. 4 августа пространственная изменчивость этого параметра была незначительной, т.к. интенсивный процесс фотосинтеза на озерах водосбора реки повысил рН до “морского уровня”. 11 августа после выпадения закисленных дождевых

осадков в речных водах величина рН резко снизилась – практически до нейтральной реакции. Заметим, что величина рН в дождях, выпадающих над северной частью европейской территории РФ, обычно не превышает 6.0, а вероятность ее уменьшения ниже 4.5 достигает 9.5% [5].

Таким образом, можно предположить, что изменения синоптических условий с периодом несколько суток, связанные с прохождением цепочки циклонов над территорией европейского севера, могут кардинально менять гидрохимическую ситуацию в устьях малых рек Белого моря.

Необходимо отметить, что подобная картина характерна только для устьев малых рек, площадь водосборов которых соизмерима с размерами теплых секторов циклонических образований, которые обуславливают выпадение больших объемов атмосферных осадков. Для средних и больших рек бассейна Белого моря подобная проблема теряет свою остроту, т.к. их водосборы, как правило, одновременно оказываются под влиянием различных зон атмосферной циркуляции, а их размеры создают буферные условия при формировании химического состава речных вод.

Предварительный анализ результатов гидрометрических наблюдений позволил выявить особенности трансформации приливной волны при ее движении в пределах устьевой области р. Кянды. Величина прилива по расчетным данным Государственного океанографического института им. М.М. Зубова у опорного поста “Остров Кий” составила в сизигию 4–5 августа 2.7 м, а в квадратуру 10–11 августа – 2.1 м. При подходе к устьевому взморью приливная волна в сизигию составила 2.31 м (рис. 2), в устьевом створе реки – 2.20 м.

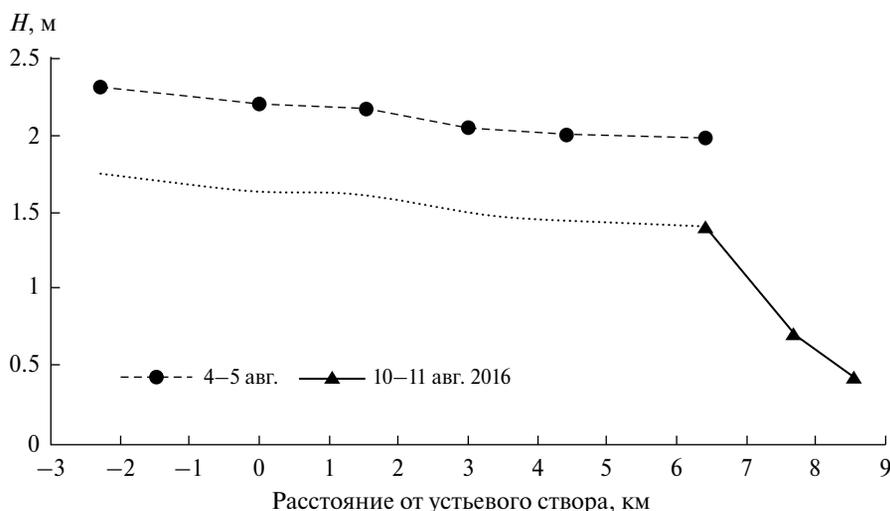


Рис. 2. Высота прилива H на взморье и вверх по устьевому участку р. Кянда (пунктирная линия соответствует предполагаемой высоте прилива 10–11 августа на участке, не охваченном измерениями).

Далее высота волны изменяется крайне незначительно, и ее резкое уменьшение начинается лишь при вхождении в узкое русло на западной окраине с. Кянда в 6.3 км от устьевого створа. Здесь уменьшение высоты прилива по сравнению с величиной у острова Кий как в сизигию, так и в квадратуру составляет около 0.7 м. Дальнейшее ее уменьшение на вышележащем перекатном участке русла происходит значительно более интенсивно, и на расстоянии 9–10 км от устьевого створа приливные колебания уровня затухают.

Расход воды в устьевом створе на границе устьевого взморья и устьевого участка реки в сизигию изменялся в широком диапазоне: от -136 до 85 м³/с (отрицательные значения расхода воды соответствуют фазе прилива). Диапазон колебаний расходов в 3 км выше устьевого створа (№ 5 на рис. 1), где выполнялись гидрохимические наблюдения, был существенно меньше – максимальный приливный расход воды составил -55.4 м³/с, максимальный расход воды на отливе был равен 33.7 м³/с. При этом стоковый расход воды р. Кянды, измеренный у моста в с. Кянда (№ 2 на рис. 1) во время фазы отсутствия там приливных колебаний уровня, составлял 5.0 м³/с, р. Моложмы в 17 км выше ее впадения в р. Кянды – 2.8 м³/с, р. Вои в 1 км выше ее впадения в р. Кянды – 0.5 м³/с.

Было установлено, что характер продвижения приливной волны по устьевому участку реки и ее трансформация несколько отличаются от общепринятых представлений о неустановившемся движении воды в приливных устьях. Наиболее существенным обстоятельством было практически одновременное наступление максимумов уровня и начало отлива по всей длине устьевого участка реки, а также нарастание скорости отливного течения при практически горизонтальной водной поверхности [1]. Кроме того, было показано, что при расчетах реверсивных течений в устьях малых рек с использованием одномерных моделей, базирующихся на уравнениях Сен-Венана, необходимо учитывать изменение гидравлического сопротивления в очень широком диапазоне значений [2], а также вариацию коррективов скорости в ходе приливного цикла.

Наблюдения за пространственно-временной изменчивостью солёности указывает на хорошее перемешивание устьевых вод по поперечному сечению устьевого водотока р. Кянда. Исключение составляют моменты “стояния” воды при смене направления приливных течений, когда в начале зоны смешения речных и морских вод могла формироваться временная стратификация вод, разрушаемая при превышении скорости приливо-отливных течений более 0.3 м/с.

Результаты проведенных наблюдений позволяют предположить, что короткопериодная изменчивость природных условий малых рек Белого моря должна обладать очень большим разнообразием, т.к. она сильно зависит от величины прилива и синоптических условий. На характер их влияния оказывают значительное воздействие особенности морфологии устьевого участка, размеры водосбора реки и его ландшафтные особенности.

ВЫВОДЫ

Полученные результаты указывают на то, что гидрологический режим и гидрохимическое состояние устьевых областей малых рек бассейна Белого моря характеризуется существенной изменчивостью в синоптических временных масштабах при том, что приливные воздействия заметно модулируются местными гидрометеорологическими условиями (ветер, осадки). Синоптическая изменчивость гидрологических показателей в устьях и на взморьях малых рек может превосходить сезонную и межгодовую, что кардинально отличает такие реки от крупных и средних. Вместе с этим, совокупное влияние стока малых рек на формирование режима прибрежной зоны Белого моря может быть весьма существенным, и связанные с этим процессы требуют дальнейшего изучения. Проведенные экспедиционные работы продемонстрировали также высокую информативность измерений, выполняемых совместно и одновременно океанологами и гидрологами.

Гидрологические наблюдения проводились сотрудниками МГУ в ходе работ по проекту РФФИ № 16-05-01018 “Исследование динамики приливных волн и стонно-нагонных явлений в устьях рек бассейна Белого моря”. Гидрохимические работы выполнялись СЗО ИО РАН по теме № 0149-2018-0016 государственного задания “Современные и древние донные осадки и взвесь Мирового океана – геологическая летопись изменений среды и климата: рассеянное осадочное вещество и донные осадки морей России, Атлантического, Тихого и Северного Ледовитого океанов – литологические, геохимические и микропалеонтологические исследования; изучение загрязнений, палеобстановок и процессов в маргинальных фильтрах рек”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алабян А.М., Алексеева А.А., Демиденко Н.А. и др. Полевые гидрологические исследования устьев рек Онежского залива в зимнюю и летнюю межень 2016–2017 гг. // Геология морей и океанов: Материалы XXII Международной научной

- конференции (Школы) по морской геологии. Т. III. М.: ИО РАН, 2017. С. 146–150.
2. *Алабян А.М., Панченко Е.Д.* Гидравлическое сопротивление в приливных устьях и феномен “отрицательного трения” в речной гидравлике // Инженерные изыскания. 2017. № 3. С. 24–32.
 3. *Лещев А.В., Коробов В.Б., Федоров Ю.А. и др.* Первые комплексные исследования реки Кянда и ее маргинального фильтра, Онежский залив Белого моря (22 июля–3 августа 2014 г.) // Океанология. 2015. Т. 55. № 5. С. 850–851.
 4. *Мискевич И.В.* Оценка цикличности короткопериодной изменчивости гидрологических и гидрохимических показателей в мезоприливном устье р. Кянда в Белом море в период летней межени // Геология морей и океанов: Материалы XXI Международной научной конференции (Школы) по морской геологии. Т. III. М.: ГЕОС, 2015. 235–239 с.
 5. *Семенец Е.С., Свистов П.Ф., Талаш А.С.* Химический состав атмосферных осадков Российского Заполярья // Изв. Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. 2017. Т. 328. № 3. С. 27–36.

Research of the Short-Period Variability of Hydrological and Hydrochemical Characteristics of the Kyanda Estuary in the Onega Bay of the White Sea (28 July–15 August 2016)

I. V. Miskevich, A. M. Alabyan, V. B. Korobov, N. I. Demidenko, A. A. Popryadukhin

Information on joint research of short-term (tidal and synoptic) variability of hydrological and hydrochemical parameters during summer 2016 low-water period in meso-tidal estuary of the Kyanda river flowing into the Onega Bay of the White Sea is presented. It is demonstrated that semi-diurnal, diurnal and synoptic variations of almost all observed parameters are significant and differ notably along the estuary.