

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РЕЧНОГО СТОКА В ОЗЕРНО-РЕЧНЫХ СИСТЕМАХ ВОДОСБОРА ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БЕЛОГО МОРЯ

*А.С. Булавина**

*Мурманский морской биологический институт Кольского научного центра РАН
(г. Мурманск)

Рассмотрен гидрологический режим озерно-речных систем водосбора западной части Белого моря. Исследовано влияние искусственного регулирования и изменений климата на гидрологический режим рек региона на основе анализа длительных рядов наблюдений (1931–1996 годы) за основными гидрологическими характеристиками. Гидроэнергетическое освоение рек региона привело к увеличению меженного стока и сокращению доли стока за половодье в среднегодовом стоке воды. Этому также способствовали изменения климата, происходившие в регионе. На территории водосбора западной части Белого моря в исследуемый период наблюдалось повышение среднегодовых температур и увеличение годового количества осадков. При этом наиболее значительное повышение температур и увеличение количества осадков происходило в холодное полугодие, способствуя частичной «сработке» снежного покрова в зимний период. На территории водосбора Белого моря в исследуемом периоде отмечалась фаза повышенной водности и общей увлажненности. Положительные тренды среднегодовых расходов воды были отмечены на всех реках рассматриваемого региона. Согласно оценкам Государственного гидрологического института, рост средних годовых температур и увеличение количества осадков продолжают и в настоящее время. Учитывая сохранение отмеченных климатических тенденций, можно предположить дальнейшее сглаживание сезонных колебаний стоковых характеристик. Вычислены коэффициенты условного водообмена для крупных озер и водохранилищ региона. Большинство водоемов характеризуются слабым внешним водообменом, а значит, способны ассимилировать значительное количество загрязняющих веществ, в т. ч. антропогенного происхождения. Большое количество таких озер, расположенных на водосборах рек, может значительно снизить поступление твердого стока и растворенных химических веществ в море.

Ключевые слова: гидрологический режим, бассейн Белого моря, внутригодовое распределение стока, изменчивость речного стока, условный водообмен, проточность озер.

Контактное лицо: Булавина Александра Сергеевна, адрес: 183010, г. Мурманск, ул. Владимирская, д. 17;
e-mail: bulavina@mmbi.info

Для цитирования: Булавина А.С. Особенности формирования речного стока в озерно-речных системах водосбора западной части Белого моря // Arctic Environmental Research. 2017. Т. 17, № 3. С. 161–172. DOI: 10.17238/issn2541-8416.2017.17.3.161

Пространственно-временная изменчивость речного стока – один из важнейших факторов воздействия на гидрологические и гидроэкологические условия Белого моря. Для Белого моря характерны значительные различия между отдельными частями акватории, обусловленные большой протяженностью с севера на юг (более 500 км), расчлененностью моря, морфометрическими особенностями его частей, неравномерностью распределения речного стока, местными особенностями климата и циркуляции вод. К.М. Дерюгин писал: «...гидрологический режим Белого моря настолько многогранен, что почти для каждого небольшого района надо устанавливать его особо»¹.

В настоящей работе рассматривается водосбор западной части Белого моря, включающей в себя Кандалакшский и Онежский заливы, а также часть акватории Бассейна, ограниченную на востоке линией мыс Горболукский – мыс Лудошный (рис. 1). Для подтверждения необходимости отдельного рассмотрения во-



Рис. 1. Белое море и его водосбор: 1 – Кандалакшский залив; 2 – Онежский залив; 3 – западная часть акватории Бассейна

досборов западной и восточной частей моря и демонстрации различий в условиях формирования речного стока приводятся некоторые характеристики рек водосбора восточной части моря. Цель исследования – определение особенностей формирования речного стока в озерно-речных системах водосбора западной части Белого моря для последующего анализа воздействия стока на водную среду и экосистему Белого моря.

Водосбор западной части моря выделен и рассмотрен в качестве самостоятельного объекта на основании ряда признаков:

1. Особенности гидрографической сети региона. Если на водосборе восточной части моря сток сосредоточен в крупных реках (Северной Двине, Мезени) и озерность незначительна, то в бассейне западной части реки в той или иной степени зарегулированы озерами и водохранилищами, что сказывается на распределении водных запасов, распространении загрязняющих веществ и самоочищении вод [1]. В данной работе поставлена задача оценки влияния большого количества проточных озер, расположенных на реках исследуемого водосбора, на формирование и внутригодовое распределение стока. Различия в объеме стока в западную и восточную части моря и в его внутригодовом распределении существенны, и их следует учитывать при изучении влияния речного стока на экосистему Белого моря.

2. Относительная изолированность водных масс западной части Белого моря в связи с направлением морских течений. В Горле Белого моря смешиваются воды, поступающие из Баренцева и Белого морей. В результате в Горле температура и соленость вод от поверхности до дна почти одинаковы, а на границе Горла с Бассейном формируется гидрологический фронт [2].

Годовой объем речного стока с водосбора достигает 4 % от общего объема Белого моря [3]. Большой объем речного стока существенно влияет на гидрологические процессы, происхо-

¹Дерюгин К.М. К гидрологии Белого моря // Зап. по гидрографии. 1923. Т. 47. С. 35–80.

дящие в западной части моря. Летом сточное течение, имеющее северо-восточное направление, довольно интенсивно и препятствует проникновению вод из Горла в Бассейн. Зимой же сток рек уменьшается и, как результат, несколько ослабевает сточное и активизируется питающее юго-западное течение, водные массы из Горла попадают в Бассейн.

3. Особенности геологического строения водосбора западной части моря. Водосбор Белого моря лежит в пределах двух крупных геологических структур: Фенноскандинавского щита, в составе которого доминируют кристаллические породы архейского возраста, и Русской плиты, сложенной преимущественно осадочными образованиями карбона, перми и мезозоя. Причем западная часть водосбора практически целиком приурочена к Фенноскандинавскому щиту, что обуславливает характер и определяет густоту озерно-речной сети, а также влияет на состав и геохимические особенности донных отложений [4].

Исходя из вышесказанного, к водосбору западной части Белого моря были отнесены реки, для которых соблюдаются следующие условия: 1) озерное регулирование; 2) принадлежность к водосбору Бассейна, Кандалакшского или Онежского заливов; 3) приуроченность к Фенноскандинавскому щиту.

Границы водосбора западной части Белого моря по суше были проведены по границам водосборов самых восточных из рассматриваемых рек – Умбы и Онеги. Принадлежность р. Умбы к водосбору западной части моря не вызывает сомнений: является озерно-речной системой, располагается полностью в пределах Фенноскандинавского щита, впадает в Кандалакшский залив. Река Онега совмещает в себе характеристики рек западной и восточной частей водосбора: сток реки находится под воздействием озер только в верхнем течении,

частично формируется в пределах Фенноскандинавского щита; река впадает в Онежский залив, отличающийся ограниченным водообменом. Несмотря на то, что первые два условия соблюдены для р. Онеги лишь частично, принадлежность к бассейну Онежского залива имеет в данном случае решающее значение. Между Бассейном и Онежским заливом происходит постоянный водообмен, тогда как проникновение в залив вод из Двинского залива и Горла сильно затруднено [5].

Материалы и методы. Для оценки гидрологического режима озерно-речных систем бассейна западной части Белого моря использовали материалы Государственного водного кадастра, российские и международные базы гидрометрических данных², а также сведения из [6]. К анализу принимали материалы по водосборам рек: Онега, Выг, Кереть, Кемь, Ковда, Нива и Умба, выбранным в качестве репрезентативных, и питающих их озер. Рассматривали данные по изменению характеристик годового и месячного стока указанных рек за период продолжительностью 65 лет (1931–1996 годы), а также морфометрические данные и характеристики водного баланса озер и их водосборных бассейнов³.

По данным наблюдений гидрологической сети рассчитывали годовые и месячные нормы стока для указанных рек, а также средние годовые и месячные значения расходов воды. Для выявления тенденций к увеличению или снижению среднего годового и месячного стока проводили оценку линейных трендов.

Полученные результаты по изменению характеристик стока сопоставляли с особенностями климатического режима. Для статистического анализа климатического режима водосбора западной части Белого моря использовали данные наблюдений, проведенных на метеорологических станциях Северо-Западного, Северного и Мурманского управлений по

²Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Арктический и антарктический научно-исследовательский институт. URL: <http://www.aari.ru/dept/science/hydrology/Hydro.htm> (дата обращения: 15.09.2017).

³Озера Карелии: справ. / под ред. Н.Н. Филагова, В.И. Кухарева. Петрозаводск, 2013. 464 с.

гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, которые расположены на исследуемом водосборе, за период 1931–2005 годов. Для расчета средних годовых значений температуры и осадков по водосбору применяли метод тяготеющих площадей (полигонов Тиссена). В качестве входных точек были выбраны метеостанции Кандалакша, Кемь, Реболы, Калева-ла, Онега и Умба.

Результаты и обсуждение. Общая площадь водосбора Белого моря составляет 720 тыс. км², его протяженность – свыше 1000 км с севера на юг и около 900 км с запада на восток [2]. Площадь водосбора западной части Белого моря (в указанных границах) равна 191 тыс. км².

Территория водосбора расположена в пределах атлантико-арктической зоны умеренного пояса. Большое влияние на климат региона оказывают циркуляционные процессы атмосферы над Атлантико-Европейским сектором Северного полушария. В середине 1970-х годов наблюдалось усиление циклонических процессов над Северной Атлантикой, в связи с чем со второй половины 1970-х годов отмечено некоторое повышение среднегодовой температуры [7]. Интенсивное и статистически значимое повышение среднегодовой температуры приземного воздуха произошло на территории питания озерно-речных систем западной части бассейна Белого моря. Рост температуры (средней по водосбору западной части Белого моря) составил 0,53 °C/10 лет. При этом увеличение средних температур воздуха за холодный период несколько выше (0,45–0,60 °C/10 лет). Средние температуры воздуха за теплый период также имеют тенденцию к увеличению (0,38–0,58 °C/10 лет). Полученные результаты близки к данным, характерным для всего водосбора Белого моря [8].

За 1976–1996 годы установлено также и некоторое увеличение годовых сумм осадков над водосбором Белого моря (0,24 мм/мес. · 10 лет). Незначительные отрицательные тренды можно

отметить в теплое полугодие (часто тренд вообще отсутствует), а положительные – в холодное полугодие (0,73 мм/мес. · 10 лет). Увеличение количества осадков в холодное полугодие статистически более значимо⁴. Таким образом, на территории водосбора западной части Белого моря отмечается фаза повышенной водности и общей увлажненности. Согласно оценкам Государственного гидрологического института, можно ожидать дальнейшего роста количества осадков на территории питания рек бассейна Белого моря [9, 10].

Рассмотрим специфику гидрологического режима озерно-речных систем водосбора западной части Белого моря.

Главными озерно-речными системами рассматриваемого региона являются системы рек Ковда (длина 233 км, площадь водосбора 26 100 км², озерность 16 %), Кемь (194 км, 27 700 км², 10 %) и Выг (Беломоро-Балтийский канал) (237 км, 27 100 км², 14 %). Длина озер, входящих в эти системы, достигает 67 % от общей длины озерно-речных систем. Среди рек рассматриваемого региона выделяется р. Онега, имеющая малую озерность (2 %).

Размещение крупных озер на водосборе обуславливает водность рек. Можно выделить три основных типа размещения крупных озер на водосборе и по долине главной реки [6]: 1) верховой – главные крупные озера лежат в верхней части водосбора, замыкая собой от 1/3 до 1/2 всего бассейна; 2) каскадный – озера равномерно распределены по длине главной реки; 3) низовой – главное озеро лежит в нижней части бассейна, и река, вытекая из него, представляет собой короткий сточный канал.

В самом общем виде, без учета иных особенностей, кроме размещения озер на водосборе реки, должна наблюдаться следующая картина. При верховом расположении озер их регулирующее влияние в нижнем течении не ощущается, и в замыкающем створе наблюдается ярко выраженная сезонность расходов

⁴Государственный доклад «О состоянии и использовании водных ресурсов Российской Федерации в 2009 году». М., 2010. 288 с.

воды. Обратная ситуация складывается при низовом расположении озер, когда в верхнем и среднем течении ярко выражена сезонность стока, а в замыкающем створе распределение стока в течение года более равномерно. При каскадном расположении озер сток распределен в течение года практически равномерно на всем протяжении реки. Исследуемые реки были разделены по типам размещения озер на водосборе (табл. 1).

Так как большинство крупных рек водосбора западной части Белого моря в той или иной степени искусственно зарегулированы, особое значение для понимания характера изменений стока в связи с климатическими процессами имеют более мелкие, но не подвергшиеся искусственной регуляции озерно-речные системы. Одной из таких систем является система р. Керети. По данным наблюдений 1931–1965 годов самыми многоводными месяцами

Таблица 1

**ТИПЫ РАЗМЕЩЕНИЯ ОЗЕР НА ВОДОСБОРАХ РЕК БАССЕЙНА
ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БЕЛОГО МОРЯ**

Речной бассейн	Крупные озера и водохранилища	Тип озерно-речной системы
Умба	Умбозеро, Канозеро	Каскадный
Нива	Имандра, Пинозеро, Плесозеро	Низовой
Кемь	Юшкозерское, Кривопорожское, Подужемское, Путкинское	Верховой
Ковда	Кумское, Иовское, Княжегубское	Каскадный
Кереть	Кереть	Верховой
Онега	Лача, Воже	Верховой
Выг	Выгозеро, Сегозеро, Ондозеро, Линдозеро	Верховой

На режим рек влияет также ряд других факторов, наиболее существенными являются различия в климате истока и устья. Река Умба имеет субмеридиональное направление течения. Длина р. Умбы составляет 123 км. В верхнем течении реки самыми многоводными являются летние месяцы. На три летних месяца приходится 33 % от годового стока, при этом самый многоводный месяц – июль (16 % от годового). Это связано с установлением стабильных температур выше 0 °С лишь в июне и поздним началом таяния снежного покрова. В мае кратковременные оттепели слегка увеличивают сток (7 % от годового). Устье реки находится значительно южнее ее истока, здесь раньше устанавливаются положительные температуры воздуха, и половодье сдвигается на более ранние месяцы. Максимальные расходы воды наблюдаются с мая по июль. Майский сток составляет 16 % от годового.

для р. Керети были май, июнь и июль (22, 14 и 10 % от годового стока соответственно), самыми маловодными – январь, февраль, март. В период наблюдений с 1966 по 1988 годы заметно увеличение стока р. Керети в холодное полугодие, что соответствует установленному повышению количества осадков в это время. Уменьшился сток за половодье. Майский сток составил всего 18 % от годового по сравнению с 22 % в предыдущий период наблюдений (1931–1965 годы), что связано с частичной «сработкой» снежного покрова во время зимних оттепелей. Июльский сток увеличился на 7 % благодаря обильным летним ливневым осадкам, наблюдавшимся в эти годы.

Существуют также различия в распределении стока р. Керети внутри года в маловодные и многоводные годы. Различия в месячном стоке в процентах от годового в годы с различной водностью по данным [6] показана

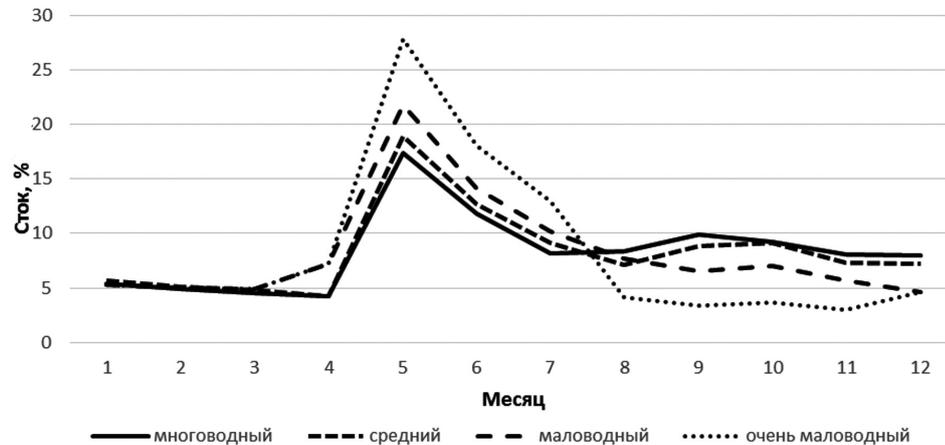


Рис. 2. Распределение стока р. Керети по месяцам в процентах от годового в годы с различной водностью (за период 1931–1996 годов)

ны на *рис. 2*. В очень маловодные годы сильнее выражены весеннее половодье и межень. С увеличением водности года сглаживается годовой ход распределения стока. Это связано с тем, что многоводные годы в регионе в период с 1931 по 1996 годы были также наиболее теплыми в череде лет из-за интенсификации циркуляционных процессов в Северной Атлантике. Господствующие атлантические воздушные массы приносят как влагу, так и тепло. Все это способствует таянию снежного покрова в зимний период, т. е. увеличению меженного стока и уменьшению стока в половодье.

На реках Нива, Ковда, Кемь и Выг построены и функционируют каскады ГЭС. Облик этих рек сильно изменен человеком, а сток жестко контролируется на каждом отрезке реки. Это приводит к более равномерному распределению стока в течение года, менее выраженным периодам половодья и межени, появлению экстремально высоких или экстремально низких показателей расхода воды, нетипичных для сезона года.

Например, сток р. Ковды за период наблюдений (1931–1996 годы) имел тенденцию к росту, что объясняется общим увеличением водности

на водосборе Белого моря. Однако обращают на себя внимание экстремально низкие или экстремально высокие показатели среднего расхода воды в некоторые месяцы, сильно отличающиеся от нормальных и не имеющие корреляционных зависимостей с климатическими показателями, такими как количество осадков и температура. Наиболее существенное отличие внутригодового распределения стока от нормальных показателей наблюдалось в 1961 и 1982 годах. В 1961 году аномально низкий расход воды отмечался с января по июль. Это не может быть объяснено малым количеством осадков или аномально высокими температурами. Весь 1961 год был годом повышенной водности. Среднее месячное количество осадков на территории водосбора реки во все месяцы 1961 года было несколько выше многолетних норм. Температуры воздуха в период аномально низких расходов воды также не превышали средних многолетних. Столь значительное снижение расходов воды может быть объяснено лишь искусственным удержанием воды в водохранилище. В 1982 году создалась обратная ситуация, когда наблюдалось аномальное увеличение стока реки в мае и июне. Средний расход

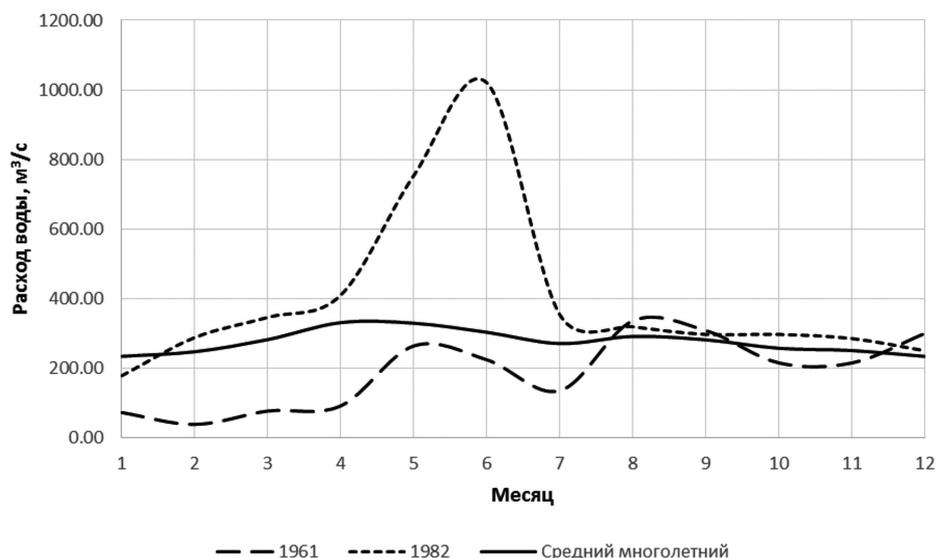


Рис. 3. Распределение внутригодовых расходов воды р. Ковды в районе Князегубской ГЭС в 1961 и 1982 годах в сравнении со среднемноголетним распределением

воды в июне 1982 года составил 1020 м³/с при норме 303 м³/с (рис. 3). При этом в 1982 году аномально высокого количества осадков или низких температур, существенно снижающих потери воды на испарение, в летние месяцы не наблюдалось.

В отличие от экстремальных значений расхода воды в отдельные месяцы, искусственность которых не вызывает сомнения, незначительное перераспределение стока внутри годовых интервалов трудно поддается оценке. Воздействия на сток искусственной регуляции и различных климатических колебаний могут иметь как схожий, так и разнонаправленный характер, что затрудняет определение причин изменений стока.

Наряду с искусственной регуляцией рек увеличению зимнего и уменьшению весеннего стока также способствуют современные климатические тенденции (повышение среднегодовой температуры, участвовавшие зимние оттепели, увеличение количества жидких осадков в холодное полугодие).

С начала 1990-х годов на водосборе Белого моря несколько возрос объем среднегодовых осадков, что привело к увеличению водности рек. Положительные тренды среднегодовых расходов воды в период с 1931 по 1996 годы отмечаются на всех реках рассматриваемого региона.

Для оценки пресноводного стока с территории бассейнов западной и восточной частей Белого моря был оценен суммарный сток наиболее крупных рек. Считая условия формирования речного стока в западной и восточной частях водосбора Белого моря однородными, в их границах произвели осреднение стоковых характеристик. Это позволило определить объем стока с неучтенных территорий, расположенных между бассейнами крупных рек. Средний по бассейну расход воды был найден как произведение модуля стока и площади неизученной территории. Из полученного среднего расхода воды был вычислен и переведен в кубические километры годовой сток. Модуль стока для рек с искусственным регулирова-

нием рассчитывали по стандартной методике, принимая, что в многолетнем цикле искусственное регулирование не оказывает влияния на его значение.

Суммарный сток с неучтенных территорий бассейна западной части Белого моря по расчетным данным составляет 7,69 км³, восточной части – 20,14 км³ (табл. 2).

По данным работы [2], суммарный сток рек в Белое море 240 км³/год, что несколько выше рассчитанного нами – 227,25 км³/год. Это различие можно объяснить использованием нами более ранних данных о стоке рек и увеличением водности региона в текущем климатическом периоде. В более ранней работе, посвященной

Белому морю [3], суммарный годовой сток в Белое море с территории его водосбора был оценен в 225 км³.

Около 60 % (35,61 км³/год) речного стока с западной части водосбора Белого моря приходится на мелководный Онежский залив, 34 % (19,83 км³/год) выносится в Кандалакшский залив и лишь 6 % (3,57 км³/год) попадает напрямую в Бассейн.

На западную часть Белого моря приходится 26 % от всего речного стока в Белое море, на восточную – 74 %, что полностью соответствует соотношению площадей водосборов западной и восточной частей моря. Но если в восточной части моря сток имеет

Таблица 2

**ПЛОЩАДИ ВОДОСБОРОВ РЕК БАССЕЙНА БЕЛОГО МОРЯ
И ИХ ВКЛАД В ВЕЛИЧИНУ ГОДОВОГО СТОКА**

Река	Площадь водосбора, км ²	Годовой сток в море, км ³	Доля от общего объема стока в море, %
<i>Водосбор западной части Белого моря</i>			
Умба	6 250	2,47	1,09
Нива	12 800	5,17	2,28
Ковда	26 100	8,69	3,82
Кемь	27 700	8,82	3,88
Кереть	3 660	0,94	0,41
Калга	1 590	0,32	0,14
Воньга	2 580	0,69	0,30
Шуя	938	0,26	0,11
Выг	27 100	8,27	3,64
Онега	56 900	15,69	6,90
Другие	25 382	7,69	3,38
<i>Итого</i>	191 000	59,01	25,97
<i>Водосбор восточной части Белого моря</i>			
Северная Двина	357 000	108,15	47,59
Мезень	78 000	28,00	12,32
Поной	15 500	5,32	2,34
Кулой	19 000	6,63	2,92
Другие	59 500	20,14	8,86
<i>Итого</i>	529 000	168,24	74,03

большие сезонные различия, то в его западной части сток распределяется более равномерно в течение года, т. к. большой объем вод сосредоточен в озерах. Для крупных озер и водохранилищ, расположенных на во-

досборе западной части Белого моря, были рассчитаны коэффициенты условного водообмена (с использованием данных справочника «Озера Карелии»⁵), результаты вычислений представлены в *табл. 3*.

Таблица 3

**ХАРАКТЕР ВОДООБМЕНА В КРУПНЫХ ОЗЕРАХ И ВОДОХРАНИЛИЩАХ
ВОДОСБОРА ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БЕЛОГО МОРЯ**

Озеро/водохранилище	Площадь зеркала, км ²	Коэффициент условного водообмена	Класс (по [11])
<i>Бассейн р. Умбы</i>			
Умбозеро	313	0,53	Слабопроточное (аккумулятивное)
Канозеро	84,3	4,18	Слабопроточное (аккумулятивно-транзитное)
<i>Бассейн р. Нивы</i>			
Имандра	876	0,47	Слабопроточное (аккумулятивное)
Пинозеро	13,6	–	–
Плесозеро	–	–	–
<i>Бассейн р. Ковды</i>			
Кумское	1910	0,65	Слабопроточное (аккумулятивное)
Иовское	294	4,22	Слабопроточное (аккумулятивно-транзитное)
Князегубское	608	2,53	Слабопроточное (аккумулятивно-транзитное)
<i>Бассейн р. Кемы</i>			
Нижнее Куйто	141	3,10	Слабопроточное (аккумулятивно-транзитное)
Среднее Куйто	257	1,32	Слабопроточное (аккумулятивно-транзитное)
Верхнее Куйто	240	1,28	Слабопроточное (аккумулятивно-транзитное)
Кривопорожское	69,9	–	–
Подужемское	12	406,50	Сильнопроточное (транзитное)
<i>Бассейн р. Керети</i>			
Кереть	223	0,38	Слабопроточное (аккумулятивное)
<i>Бассейн р. Выг</i>			
Выгозеро	1251	0,79	Слабопроточное (аккумулятивное)
Сегозеро	815	0,10	Слабопроточное (аккумулятивное)
Ондозеро	182	1,32	Слабопроточное (аккумулятивно-транзитное)
Линдозеро	45,3	20,70	Умеренно-проточное (транзитно-аккумулятивное)
<i>Бассейн р. Онеги</i>			
Лача	356	7,40	Слабопроточное (аккумулятивно-транзитное)
Воже	422	3,50	Слабопроточное (аккумулятивно-транзитное)

⁵Озера Карелии: справ.

Выводы

1. Обосновано выделение западной части водосбора Белого моря по совокупности гидрологических, океанологических и геологических признаков.

2. Основная особенность изменений режима озерно-речных систем западной части бассейна Белого моря за период с 1931 по 1996 годы заключается в изменении распределения стока внутри года. Сокращение доли стока за половодье в среднегодовом стоке воды является как следствием климатических тенденций, так и результатом искусственной регуляции рек. При сохранении отмеченных климатических тенденций можно ожидать дальнейшего увеличения объемов меженного стока и снижения объемов стока за половодье.

3. Анализ условий водообмена в озерно-речных системах бассейна западной части Белого моря показал, что на водосборах исследуемых рек преобладают слабопроточные (аккумулятивно-транзитные и аккумулятивные) озера. Слабый внешний водообмен является одним из факторов, способствующих накоплению и преобразованию в озерах различных растворенных и взвешенных веществ, в т. ч. антропогенного происхождения. Большое количество таких озер, расположенных на водосборах рек, может значительно снизить поступление твердого стока и растворенных химических веществ в море [11, 12]. Полученные данные могут быть использованы для оценки уязвимости экосистемы Белого моря.

Список литературы

1. *Дмитриева В.А.* Географо-гидрологическая оценка водных ресурсов субъекта Российской Федерации в условиях меняющегося климата и хозяйственной деятельности (на примере Воронежской области): автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. Воронеж, 2012. 47 с.
2. Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов / под ред. Н.Н. Филатова, А.Ю. Терзевика. Петрозаводск, 2007. 335 с.
3. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 2. Белое море. Вып. 1. Гидрометеорологические условия / под ред. Б.Х. Глуховского. Л., 1991. 240 с.
4. *Маслов А.* Морской вектор геологических исследований // Наука Урала: газ. Урал. отд-ния РАН. 2011. № 29–30 (декабрь).
5. *Бабков А.И.* Гидрология Белого моря. СПб., 1998. 94 с.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 3. Северный край / под ред. И.М. Жила, Н.М. Алюшинской. Л., 1972. 302 с.
7. *Назарова Л.Е., Толстиков А.В., Филатов Н.Н.* Климатические особенности водосбора Белого моря // Климат Карелии: изменчивость и влияние на водные объекты и водосборы. Петрозаводск, 2004. С. 114–129.
8. *Смирнова А.И., Терзиев Ф.С., Яковлева Н.П., Арсенчук М.О.* Закономерности разномасштабной изменчивости элементов гидрометеорологического режима Белого моря, фоновые оценки их колебаний на современном этапе // Проблемы изучения, рационального использования и охраны природных ресурсов Белого моря: материалы VIII регион. науч.-практ. конф. Беломорск, 2001. С. 22–29.
9. Водные ресурсы России и их использование / под ред. И.А. Шикломанова. СПб., 2008. 598 с.
10. *Шикломанов И.А., Георгиевский В.Ю.* Влияние климатических изменений на водные ресурсы и водный режим рек России // Тез. докл. Всемир. конф. по изменению климата (Москва, 29 сент. – 3 окт. 2003 г.). М., 2004. С. 250.
11. *Богословский Б.Б., Филь С.А.* Классификация водоемов по внешнему водообмену // Географо-гидрологический метод исследования вод суши. М., 1984. С. 54–60.
12. *Богословский Б.Б.* О водообмене и водных массах водных объектов // Круговорот вещества и энергии в озерных водоемах. Новосибирск, 1975. С. 270–275.

References

1. Dmitrieva V.A. *Geografo-gidrologicheskaya otsenka vodnykh resursov sub"ekta Rossiyskoy Federatsii v usloviyakh menyayushchegosya klimata i khozyaystvennoy deyatel'nosti (na primere Voronezhskoy oblasti): avtoref. dis. ... d-ra geogr. nauk* [Geographical and Hydrological Assessment of Water Resources of a Subject of the Russian Federation in the Conditions of a Changing Climate and Economic Activity (the Case of the Voronezh Region): Dr. Geogr. Sci. Diss. Abs.]. Voronezh, 2012. 47 p.
2. *Beloe more i ego vodosbor pod vliyaniem klimaticheskikh i antropogennykh faktorov* [The White Sea and Its Watershed under the Influence of Climatic and Anthropogenic Factors]. Ed. by N.N. Filatov, A.Yu. Terzhevnik. Petrozavodsk, 2007. 335 p. (In Russ.)
3. *Gidrometeorologiya i gidrokimiya morey SSSR. T. 2. Beloe more. Vyp. 1. Hidrometeorologicheskie usloviya* [Hydrometeorology and Hydrochemistry of the USSR Seas. Vol. 2. The White Sea. Iss. 1. Hydrometeorological Conditions]. Ed. by B.Kh. Glukhovskiy. Leningrad, 1991. 240 p. (In Russ.)
4. Maslov A. Morskoy vektor geologicheskikh issledovaniy [Marine Vector of Geological Research]. *Nauka Urala: gaz. Ural. otd-niya RAN* [Science of the Urals: Newspaper of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences], 2011, no. 29–30 (December).
5. Babkov A.I. *Gidrologiya Belogo morya* [Hydrology of the White Sea]. Saint Petersburg, 1998. 94 p. (In Russ.)
6. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. T. 3. Severnyy kray* [Resources of Surface Waters of the USSR. Vol. 3. The Northern Territory]. Ed. by I.M. Zhil, N.M. Alyushinskaya. Leningrad, 1972. 302 p. (In Russ.)
7. Nazarova L.E., Tolstikov A.V., Filatov N.N. Klimaticheskie osobennosti vodosbora Belogo morya [Climatic Features of Catchment of the White Sea]. *Klimat Karelii: izmenchivost' i vliyanie na vodnye ob"ekty i vodosbory* [Climate of Karelia: Variability and Impact on Water Bodies and Catchments]. Petrozavodsk, 2004, pp. 114–129. (In Russ.)
8. Smirnova A.I., Terziev F.S., Yakovleva N.P., Arsenchuk M.O. Zakonomernosti raznomasshtabnoy izmenchivosti elementov gidrometeorologicheskogo rezhima Belogo morya, fonovye otsenki ikh kolebaniy na sovremennom etape [Patterns of the Various-Scale Variability of Hydrometeorological Regime Elements of the White Sea, Background Estimates of Their Fluctuations at the Present Stage]. *Problemy izucheniya, ratsional'nogo ispol'zovaniya i okhrany prirodnykh resursov Belogo morya: materialy VIII region. nauch.-prakt. konf.* [Problems of Studying, Rational Use and Protection of Natural Resources of the White Sea: Proc. 8th Reg. Sci. Pract. Conf.]. Belomorsk, 2001, pp. 22–29. (In Russ.)
9. *Vodnye resursy Rossii i ikh ispol'zovanie* [Water Resources of Russia and Their Use]. Ed. by I.A. Shiklomanov. Saint Petersburg, 2008. 598 p. (In Russ.)
10. Shiklomanov I.A., Georgievskiy V.Yu. Vliyanie klimaticheskikh izmeneniy na vodnye resursy i vodnyy rezhim rek Rossii [The Impact of Climate Changes on Water Resources and the Water Regime of the Russian Rivers]. *Tez. dokl. Vsemir. konf. po izmeneniyu klimata (Moskva, 29 sent. – 3 okt. 2003 g.)* [Proc. World Conf. on Climate Change (Moscow, September 29 – October 3, 2003)]. Moscow, 2004, p. 250. (In Russ.)
11. Bogoslovskiy B.B., Fil' S.A. Klassifikatsiya vodoemov po vneshnemu vodoobmenu [Classification of Reservoirs by External Water Exchange]. *Geografo-gidrologicheskiy metod issledovaniya vod sushi* [Geographical and Hydrological Research Method of Land Water]. Moscow, 1984, pp. 54–60. (In Russ.)
12. Bogoslovskiy B.B. O vodoobmene i vodnykh massakh vodnykh ob"ektov [On the Water Exchange and Water Masses of Water Objects]. *Krugovorot veshchestva i energii v ozernykh vodoemakh* [Circulation of Matter and Energy in Lake Water Bodies]. Novosibirsk, 1975, pp. 270–275. (In Russ.)

*Aleksandra S. Bulavina**

*Murmansk Marine Biological Institute,
Kola Scientific Center of the Russian Academy of Sciences (Murmansk, Russian Federation)

**FEATURES OF RIVER RUNOFF FORMATION
IN THE LAKE-RIVER WATER COLLECTION SYSTEMS
IN THE WESTERN PART OF THE WHITE SEA**

The paper studies the hydrological regime of the lake-river water collection systems of the western part of the White Sea and the influence of artificial regulation and climate changes on the hydrological regime of rivers of the region based on the analysis of long series of observations (1931–1996) for main hydrological characteristics. The hydropower development of the rivers in the region contributes to an increase in low-flows and a reduction of flow during the flood in the mid-annual runoff. The climate change occurring in the region also contributes to this change. The average temperatures and annual precipitation in the western part of the White Sea catchment area increase during the study period. The most significant increase of these parameters are observed in the cold half-year, contributing to a partial melting of snow cover in the winter period. The phase of increased water and moisture content is marked in the catchment area of the White Sea during the studied period. Positive trends in average annual water expenditure are noted in all rivers of the region. According to the State Hydrological Institute estimations, the increase in average annual temperatures and amount of precipitation continues at present time. Considering the preservation of the observed climate trends, we can assume further smoothing of seasonal fluctuations in the runoff characteristics. The coefficients of conditional water exchange for large lakes and reservoirs in the region are calculated. Most water bodies are characterized by weak external water exchange and, therefore, are able to absorb a significant amount of pollutants, including anthropogenic origin. A large number of lakes in the catchment areas of rivers can significantly reduce the flow of solid runoff and dissolved chemicals into the sea.

Keywords: *hydrological regime, White Sea basin, annual distribution of stream flow, variability of river runoff, conditional water exchange, lake flowage.*

Поступила 21.04.2017
Received on April 21, 2017

Corresponding author: Aleksandra Bulavina, *address:* ul. Vladimirskaia, 17, Murmansk, 183010, Russian Federation; *e-mail:* bulavina@mmbi.info

For citation: Bulavina A.S. Features of River Runoff Formation in the Lake-River Water Collection Systems in the Western Part of the White Sea. *Arctic Environmental Research*, 2017, vol. 17, no. 3, pp. 161–172. DOI: 10.17238/issn2541-8416.2017.17.3.161