

АНТРОПОГЕННЫЕ И ЕСТЕСТВЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ОГРАНИЧЕНИЙ ДЛЯ ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЯ В ДЕЛЬТАХ РЕК РОССИЙСКОЙ АРКТИКИ*

© 2015 г. Н.И. Алексеевский, Д.В. Магрицкий, В.Н. Михайлов

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Москва

Ключевые слова: реки, арктические дельты, сток воды, наносов и теплоты, гидрологический режим, затопление местности, ледовый режим, гидрологические ограничения для природопользования.



Н.И. Алексеевский



Д.В. Магрицкий

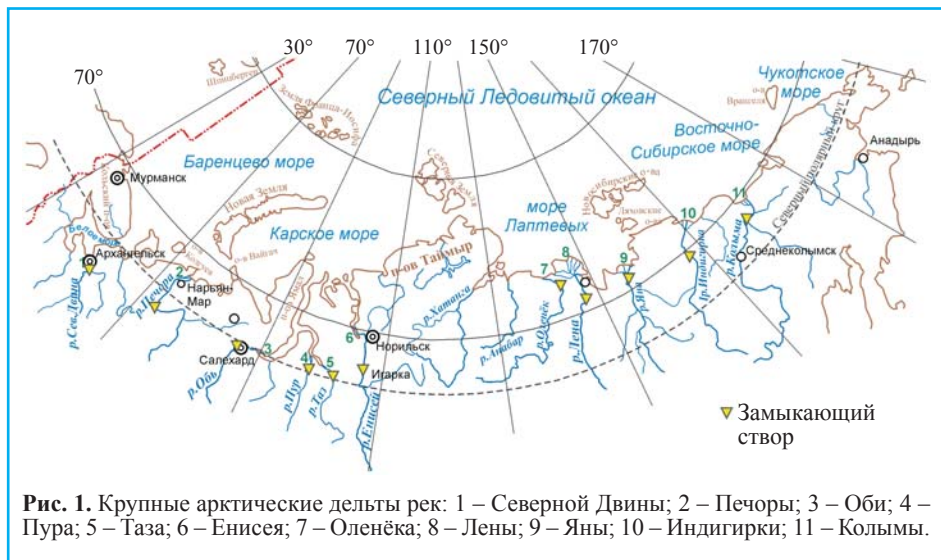


В.Н. Михайлов

На основе анализа обширного массива гидрологических данных изучены особенности изменений компонентов речного стока и гидрологических ограничений для природопользования в крупнейших дельтах российской Арктики. Выявлены закономерности и причины внутригодовой и многолетней изменчивости стока воды, наносов и теплоты, обоснованы тенденции их возможных изменений в XXI в. Оценены последствия изменения стока и гидрологического режима в арктических дельтах. Показано, что гидрологические ограничения для современного и перспективного природопользования в этом регионе России будут связаны с изменением водного баланса устьев рек, распределением стока между дельтовыми рукавами и его трансформацией от вершины к морскому краю дельт, особенностями весенне-летнего затопления дельтовых равнин, термического и ледового режима рек.

Около 10 % материковых берегов российской Арктики приходится на речные дельты. Дельты обладают уникальными наземными и аквальныеми

* Исследование выполнено за счет гранта РФФИ № 14-37-00038.



экосистемами, водными, разнообразными биологическими и топливными ресурсами, выполняют роль маргинального фильтра и в значительной мере задерживают как речные наносы, так и выносимые с ними загрязняющие вещества. Они являются зоной сосредоточения населения и крупных объектов производственной сферы, связующим звеном между морскими и речными грузоперевозками. Расположение арктических дельт в зоне сурового климата, на морских побережьях увеличивает риски опасных природных явлений и одновременно уязвимость их природных комплексов к антропогенному воздействию. Гидрологические риски в дельтах тесно связаны с величиной и изменчивостью речного стока [1]. Со стоком связана обводняющая, опресняющая, отепляющая, созидающая и экологическая роль рек. Для ее изучения использованы гидрологическая информация Росгидромета (до 2007–2011 гг.) (рис. 1), а также архивные и опубликованные данные экспедиционных исследований географического факультета Московского государственного университета, других научных и производственных организаций страны.

Объекты исследования

Арктические дельты индивидуальны по своему местоположению, размеру, морфологическому типу, строению, ландшафтно-климатическим условиям и гидрологическому режиму [2]. Самая большая дельта у р. Лены (см. рис. 1). Ее площадь 32 тыс. км². Дельта сильно выдвинута в море, имеет сложную и густую гидрографическую сеть. Значительные размеры также у

дельт рек Яны (6600 км²), Индигирки (5000 км²), Енисея (4500 км²), Печоры (3250 км²), Оби (3250 км²) и Колымы (3250 км²). Наименьшая площадь у дельты р. Оленёка (550 км²). Площадь дельт рек Северная Двина, Пур и Таз равна 900, 630 и 830 км² соответственно.

Дельты расположены к северу от Северного полярного круга (исключение – дельта Северной Двины), в умеренном (дельты Северной Двины и Оби), субарктическом (Печоры, Пура, Таза) и арктическом (остальные дельты) климатических поясах. Такое географическое положение дельт, относительно влажный и суровый климат, распространение многолетнемерзлых пород (ММП) и мерзлотные процессы, ледовитые арктические моря, процессы дельтообразования, обилие воды и отепляющее влияние рек создали в дельтах как типичные для региона, так и специфические дельтовые ландшафты. Их отличают низменный рельеф (со средними высотами от 0 до 5–15 м над уровнем моря) с мерзлотными и аллювиальными формами; доминирование тундровых растительных сообществ с редкими деревьями вдоль водотоков; густая русловая сеть; обилие термокарстовых и старичных озёр; заболоченных территорий и др. Дельтам свойственны длительный период ледостава, заливание морскими и особенно речными водами, слабое, но заметно превосходящее показатели смежных территорий освоение территории и ресурсов. Исключение составляет дельта Северной Двины, которая расположена вне зоны распространения ММП, в северо-таежной растительной подзоне, давно и значительно освоена. В дельте расположены города Архангельск и Северодвинск с общей численностью населения ~550 тыс. чел., с развитой и многоотраслевой производственной сферой.

Степень освоения остальных дельт существенно ниже, часть дельт не имеет даже постоянного населения. В начале XXI в. в дельте Печоры проживало около 23 тыс. чел.; в дельте Оби – 9500; Таза – 10 000; Енисея – 2500; Лены и Индигирки – 500; Яны – 1000, в дельте Колымы – 3600 чел. Основные занятия населения – оленеводство, охота и заготовка пушнины, рыболовство (реже рыбопереработка), кое-где заготовка сена и молочное животноводство. Через все дельты проходят водно-транспортные пути региона, осуществляется северный завоз грузов. В некоторых дельтах расположены речные пристани и даже порты. В дельтах Оби, Печоры и Таза обнаружены и эксплуатируются месторождения природного газа, газового конденсата, проходят трассы дорог и газопроводов.

Гидрологические условия на речной границе дельт

Гидрологический режим устьев рек и их водохозяйственное использование, безопасность современного и перспективного природопользования во многом зависят от составляющих речного стока в вершине дельты (ВД).

Причем основное значение для арктических дельт имеют сток воды (W_Q) и наносов (W_{R+G}), тепловой сток (W_T), термический и ледовый режим рек.

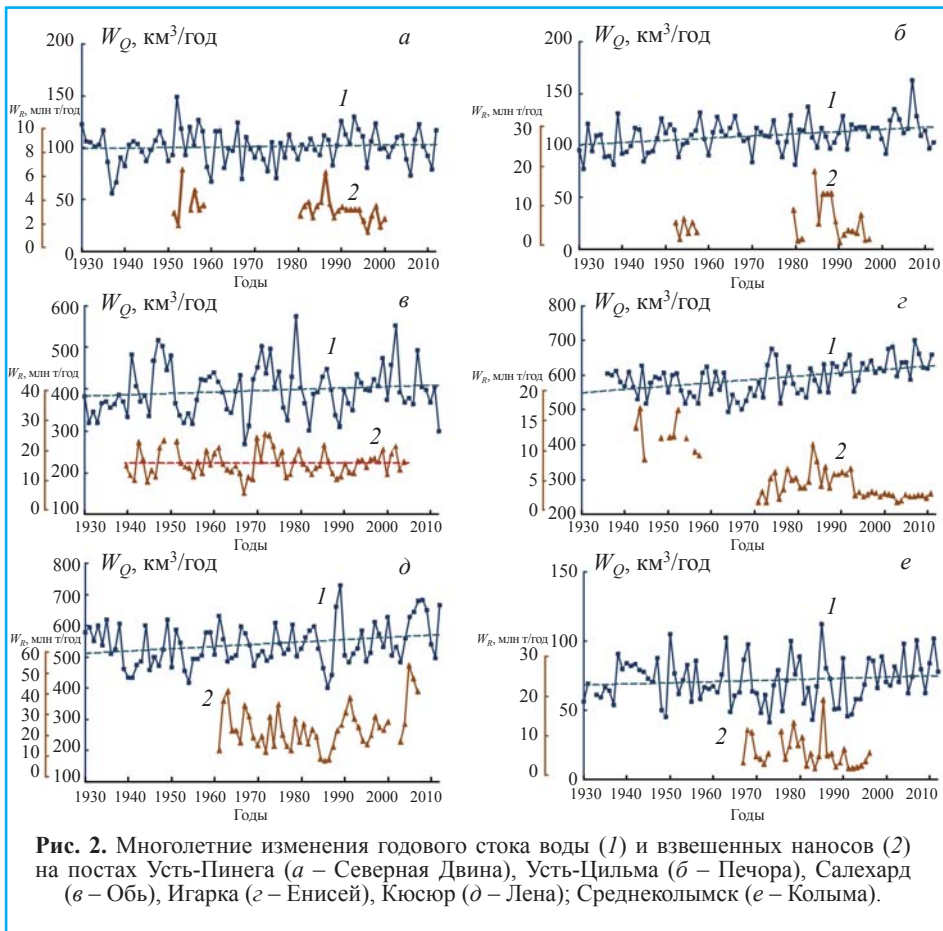
Сток воды 11 учтенных рек составляет около 75 % объема всех речных вод, поступающих с российской части водосбора Северного Ледовитого океана. Он включает объем воды в вершине дельты, приток с местного водосбора дельт и «климатический» сток как разность между объемами дождевых вод и испарения в пределах дельты. В дельте Северной Двины величина «климатического» стока составляет ~0,36; Печоры – 1,24; Оби – 1,02; Енисея – 1,13; Лены – 5,28; Яны – 0,89; Индигирки – 0,55; Колымы – 0,36 км³/год [1]. Около 97–99 % величины суммарного стока на морском крае дельты (МКД) приходится на сток реки в вершине ее дельты (табл. 1), т. е. от ВД к МКД сток воды возрастает не более чем на 1–3 %.

Главная особенность многолетних колебаний стока воды большинства арктических рек – его увеличение с 1980-х годов (рис. 2). Оно обусловлено изменениями климатических условий формирования стока с конца 1970 – начала 1980-х годов [1, 3, 4]. Средний сток Северной Двины, Печоры, рек Обского Севера, Енисея, больших рек водосбора моря Лаптевых и западной части водосбора Восточно-Сибирского моря увеличился в 1976–2005 гг.

Таблица 1. Основные характеристики годового стока воды (W_Q), взвешенных (W_R) и влекомых (W_G) наносов, теплоты (W_T) рек российской части водосбора Северного Ледовитого океана (за весь период наблюдений и до 2005–2012 гг.)

Река	Замыкающий створ				На верхней границе дельты			Морской край дельты	
	площадь бассейна, тыс. км ²	W_Q , км ³	W_R , тыс. т	W_T , 10 ¹⁵ кДж	W_R , млн т	W_G , млн т	W_T , 10 ¹⁵ кДж	площадь бассейна, тыс. км ²	W_Q , км ³
Северная Двина	348	105	3270	2,84	3,33	0,65	2,85	357	108
Печора	248	110	5590	2,67	6,43	2,28	3,25–3,74	322	132
Обь	2953	396	15 800	13,5	15,9	2,89	13,7	2990	406
Пур	95,1	28,4	707	0,78	0,77	0,41	0,9	112	32,9
Таз	100	33,5	(524)	1,16	0,73	0,49	1,49–1,55	150	45,8
Енисей	2440	590	12 400 ¹	15,4	12,8 ¹	2,77 ¹	15,4–16,2	2580	635
Оленёк	198	37,2	1160	0,87	1,31	1,12	0,94–0,97	219	40,7
Лена	2430	540	23 300	15,5	23,5	5,40	15,5–15,6	2490	550
Яна	224	34,4	4480	1,26	4,49	1,46	1,27	238	35,9
Индигирка	305	50,5	11 700	2,15	11,8	3,40	2,20–2,23	360	54,1
Колыма	526	105	14 000 ¹	3,78	15,8 ¹	4,20 ¹	4,5	647	125

Примечание: ¹ – для условно-естественного периода.



(в сравнении с показателями базового периода – 1936–1975 гг.) в среднем на 4–7 %. У ряда рек, например Печоры, Лены и Колымы, явное увеличение стока отмечено в последние 10–15 лет. В низовьях Оби, наоборот, увеличение сменилось в XXI в. стабилизацией и даже снижением стока воды (рис. 2в). Причинами подобной тенденции могут быть: расположение большей части бассейна Оби в южных, засушливых широтах и (под влиянием потепления) увеличение потерь стока на испарение; рост водопотребления на территории Китая, Казахстана и Российской Федерации.

Внутригодовая структура изменений годового стока воды у разных рек неодинакова. В низовьях Северной Двины, Печоры, рек Обского Севера, Оленёка и Лены увеличение стока обусловлено повышением водности почти во все сезоны года. У незарегулированных рек сток весенне-летнего половодья увеличился на 2–10 %. Водность летне-осеннего периода особенно возросла в низовьях и устьях рек восточной части водосбора Карского моря

и западной части водосбора моря Лаптевых, а также Яны и Индигирки (на 20–25 %) и в меньшей мере у Северной Двины (6,5 %), Печоры (2,5 %), Пура (2,1 %), Лены (0,5 %) и Колымы (4,8 %). Почти у всех рек, за исключением Яны и Индигирки, особенно положительной была динамика зимнего стока. Заметное повышение водности зимней межени отмечено у Северной Двины, Печоры, Оби, рек Обского Севера и западной части водосбора моря Лаптевых (7–20 %) и особенно у Енисея, Лены и Колымы – 67, 37 и 142 % соответственно.

Увеличение зимнего стока Оби, Енисея, Лены и Колымы – следствие влияния не только климатических факторов, но и искусственного регулирования стока этих рек и их притоков [5, 6]. Эксплуатация крупных водохранилищ послужила важным фактором уменьшения водности Енисея и Колымы в весенне-летний и осенний сезоны. В замыкающем створе Енисея (пост Игарка) расходы воды в ноябре–марте и апреле после 1970 г. составили 158 и 213 %, а в мае–июле – 92 %, августе–октябре – 86 % их значений в 1936–1961 гг. На посту Среднеколымск расходы воды Колымы в ноябре–апреле составили после 1992 г. 334 %, в мае–июне 92, июле–октябре 92 % их значений в 1948–1980 гг., т. е. до пуска первой очереди Колымского гидроузла.

В целом водохозяйственные мероприятия и гидротехническое строительство на водосборах не повлияло на среднесезонный сток арктических рек в их устьях. Но межгодовое и особенно сезонное регулирование стока прослеживается на значительном расстоянии от крупных водохранилищ, достигая низовьев и даже дельт. Забор воды и водоотведение достигают заметных значений в бассейне Оби. Но даже значительные объемы общего (17,7 км³/год, без данных по Китаю) и безвозвратного (7,6 км³/год) изъятия воды в 1986–1990 гг. не превысили 4,3 и 1,9 % годового стока Оби в вершине ее дельты. В 1990-е годы и первом десятилетии XXI в. эти объемы в РФ уменьшились. В бассейнах других рек водозабор еще меньше и соизмерим с величиной погрешностей при расчете стока воды в замыкающем створе реки.

Изменения водного режима арктических рек продолжатся в XXI в. [1, 3, 7–10]. Сток арктических рек будет увеличиваться, что благоприятно скажется на их хозяйственном использовании. Изменения стока будут нарастать при переходе от западных и южных к северным и северо-восточным районам арктического региона, а также к рекам с большей площадью водосбора в высоких широтах. К середине XXI в. относительное увеличение водных ресурсов Северной Двины, Печоры, Оби, Енисея и Лены может составить 4–14 % и больше. Особенно значительно увеличится сток зимнего сезона и, в первую очередь, у рек водосборов Белого и Баренцева морей. Прогнозируемое увеличение стока повысит вероятность формирования

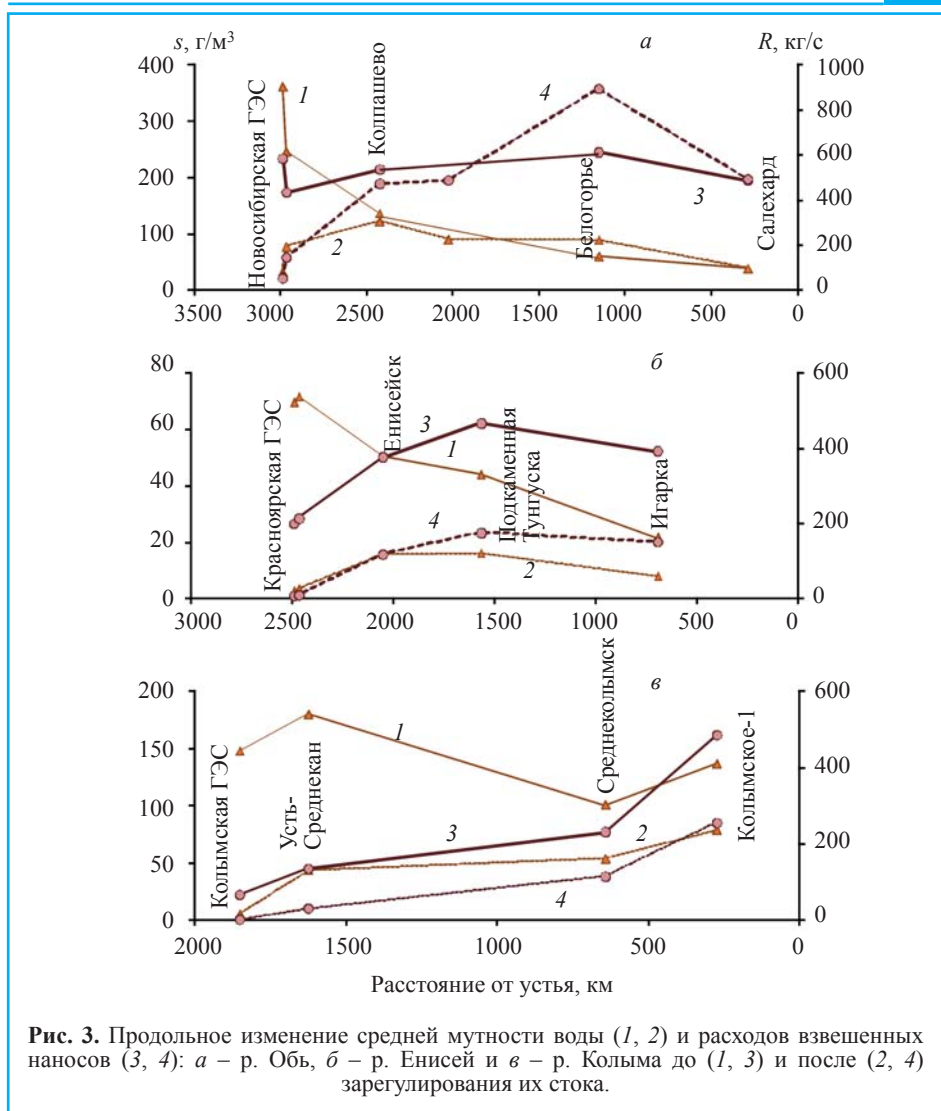
экстремально больших расходов воды $Q_{\text{макс}}$ в весенне-летний период и соответственно опасность наводнений в низовьях и дельтах арктических рек. С учетом зависимости между $Q_{\text{макс}}$ и годовым расходом воды $Q_{\text{год}}$ увеличение среднего стока воды арктических рек на 5 и 10 % может сопровождаться увеличением $Q_{\text{макс}}$ в их низовьях соответственно на 2–4 и 4–8 % и более. Эти оценки согласуются с данными модельных расчетов Е.Н. Антохиной [11]. Продолжительность половодья в ВД Северной Двины к середине XXI в. может увеличиться в 1,5, объем половодья – в 1,4 раза (при относительной ошибке прогноза 26,7 %). Средний расход воды половодья возрастет в 1,1 раз.

Сток наносов рек (W_{R+G}) – один из наиболее важных факторов интенсивности русловых процессов, общей динамики гидрографической сети дельт и скорости выдвигания МКД в моря. Наносы влияют на условия судоходства и водозабора, безопасность инженерных объектов в русле реки и береговых сооружений. Количество наносов – один из показателей качества речных вод и возможности их использования без предварительной подготовки.

Воды в низовьях арктических рек отличает небольшая мутность (менее 30–50 г/м³). Большие значения мутности у рек Яно-Колымского района (Яна – 130, Индигирка – 230, Колыма – 98 г/м³). Тем не менее с учетом огромного стока воды поступление наносов в арктические дельты велико. Сток взвешенных наносов (W_R) максимален в устье Лены – 23,5 млн т/год. Он заметно меньше в вершине устьевой области Оби (15,9), Енисея (12,4), Индигирки (11,8) и Колымы (15,8 млн т/год) (см. табл. 1). От 30 до 50 % стока взвешенных наносов в вершинах устьевых областей аккумулируется, не достигая устьевого взморья рек [1, 12]. Сток влекомых наносов (W_G) также велик (см. табл. 1); основная его часть (до 80–90 %) отлагается в дельтовых водотоках.

Временные колебания стока воды и взвешенных наносов рек похожи. Отличие состоит в большей внутригодовой и межгодовой изменчивости стока наносов. Увеличение водного стока обычно сопровождается увеличением стока взвешенных наносов арктических рек (см. рис. 2). Тенденция нарушается для зарегулированных рек. Эксплуатация водохранилищ резко уменьшает сток наносов реки ниже по течению. Восстановление стока влекомых наносов происходит уже на расстоянии 50–100 км от плотины гидроузла. Сток взвешенных наносов может не достичь фоновых значений вплоть до вершин дельт (рис. 3) [1, 13]. Восстановлению препятствуют снижение $Q_{\text{макс}}$, повышенная устойчивость русел зарегулированных рек и пониженная мутность воды ниже впадающих притоков.

Средняя мутность воды Колымы уменьшилась в 1990-х гг. до 5, 44, 54 и 79 г/м³ на расстоянии соответственно 7, 227, 1209 и 1578 км от плотины Колымской ГЭС (рис. 3в). Ранее она была гораздо выше – 148, 180, 101 и 137 г/м³. В 2000-х гг. сток наносов в среднем и нижнем течении Колымы



уже не измерялся. На Енисее похожий эффект создало Красноярское водохранилище (см. рис. 3б). В результате сток взвешенных наносов нижнего Енисея сократился на замыкающем створе с 12,4 до 5,14 млн т в 1970–1992 гг. и до 2,42 млн т в 1993–2011 гг. Сток взвешенных наносов нижней Колымы сократился до 7,4 млн т. На Оби, наоборот, влияния Новосибирского водохранилища на сток наносов практически уже не видно ниже впадения рек Томь и Иртыш (рис. 3а).

Вероятность дальнейшего увеличения стока наносов в арктические моря велика. Этому процессу благоприятствуют рост общего стока рек,

максимальных расходов воды, температуры воздуха и воды. Количественно оценить роль этих факторов в изменении стока наносов пока не представляется возможным. Предположительно стоковый фактор будет усиливать интенсивность эрозионных процессов на водосборах и в руслах рек, температурный фактор – ослаблять противозэрозионную устойчивость мерзлых пород, увеличивать мощность слоя сезонного оттаивания грунтов, интенсифицировать термоэрозионные процессы. В результате годовой сток взвешенных наносов Северной Двины, Оби, Оленёка, Лены, Яны и Индигирки может ориентировочно возрасти (при увеличении среднего стока воды на 5 и 10 %) на 6–12 и 7–24 % соответственно.

Тепловой сток (W_T) арктических рек довольно велик, несмотря на относительно низкие температуры воды и короткий теплый сезон года. Максимальный годовой сток тепла поступает в дельты наиболее водоносных рек региона (см. табл. 1). Повышенные величины W_T объясняются не только большой водоносностью этих рек, но и оптимальным сочетанием значений расхода и положительной температуры воды (T_B) в период открытого русла. Поэтому основная часть теплового стока крупных рек Белого моря формируется весной (апрель–май, 24–28 %) и летом (июнь–август, 58–65 %). К востоку она формируется в летние месяцы: 82 % у Печоры, 85–92 % у больших рек водосбора Карского моря, 89–96 % – моря Лаптевых, 88–92 % – Восточно-Сибирского моря.

Тепловой сток рек изменяется под влиянием климата и водохозяйственной деятельности. У незарегулированных рек W_T испытывает многолетнее, климатически обусловленное изменение вследствие увеличения температуры и стока воды [14]. В устье Северной Двины (пост Усть-Пинега) увеличение T_B отмечено во все теплые сезоны года, но с различиями в величине и хронологии. Весной оно наблюдается с середины 1970-х, наиболее заметно – с середины 1980-х гг. и достигает 0,5–1,0 °С. Летом оно больше: 0,4–1,5 °С. Увеличение осенней T_B датируется серединой 1990-х гг. и не превысило 0,5 °С. В результате роста T_B и водного стока тепловой сток Северной Двины вырос в 1976–2004 гг. на 14,5 %. На устьевом участке Печоры (пост Усть-Цильма) увеличение W_T составило 8,8 %. Тепловой сток Нижней Лены (пост Кюсюр) в 1988–2000 гг. превысил свою величину 1936–1975 гг. на 8 %. Тепловой сток Нижней Яны (посты Джангкы/Юбилейная) в 1988–2000 гг. вырос на 22 % по сравнению с условиями 1936–1975 гг.

Следствием гидроэнергетического освоения рек Оби, Енисея, Вилюя и Колымы стало уменьшение их W_T , главным образом, из-за снижения водности месяцев с положительной температурой воды. Следует признать, что Новосибирское и Бухтарминское (на р. Иртыш) водохранилища не привели к статистически значимому уменьшению W_T Нижней Оби. В нижнем бьефе Новосибирского гидроузла W_T Оби уменьшился на 16 %. В 23 и 564 км от

плотины это уменьшение составило 12 и 5 % соответственно. Ниже по течению, в том числе в пределах устьев участка реки (створ на 2699-м км), уменьшение W_T не превышает 5 %. Наоборот, в 40, 448, 934 и 1805 км ниже плотины Красноярской ГЭС современная величина W_T Енисея меньше фоновых значений на 55, 39, 21 и 15 %. В нижнем течении Лены тепловое состояние реки почти не связано с сооружением Вилюйского водохранилища, тогда как температурный режим р. Вилюй претерпел заметные изменения. Сразу ниже плотины Колымской ГЭС величина W_T уменьшилась почти на 50 %, в 227 км от плотины – на 21, в 1209 км – на 14, в 1578 км – на 8 %. К дельте эти изменения становятся еще менее заметны вследствие впадения многоводной р. Анюй. С 1995 г. в устье Колымы отмечено увеличение W_T , обусловленное повышением летней и осенней температур, а также возрастанием стока весеннего половодья.

Естественный температурный фон Енисея почти полностью восстанавливается летом на удалении 700–750 км, а зимой – 400 км от плотины Крас-

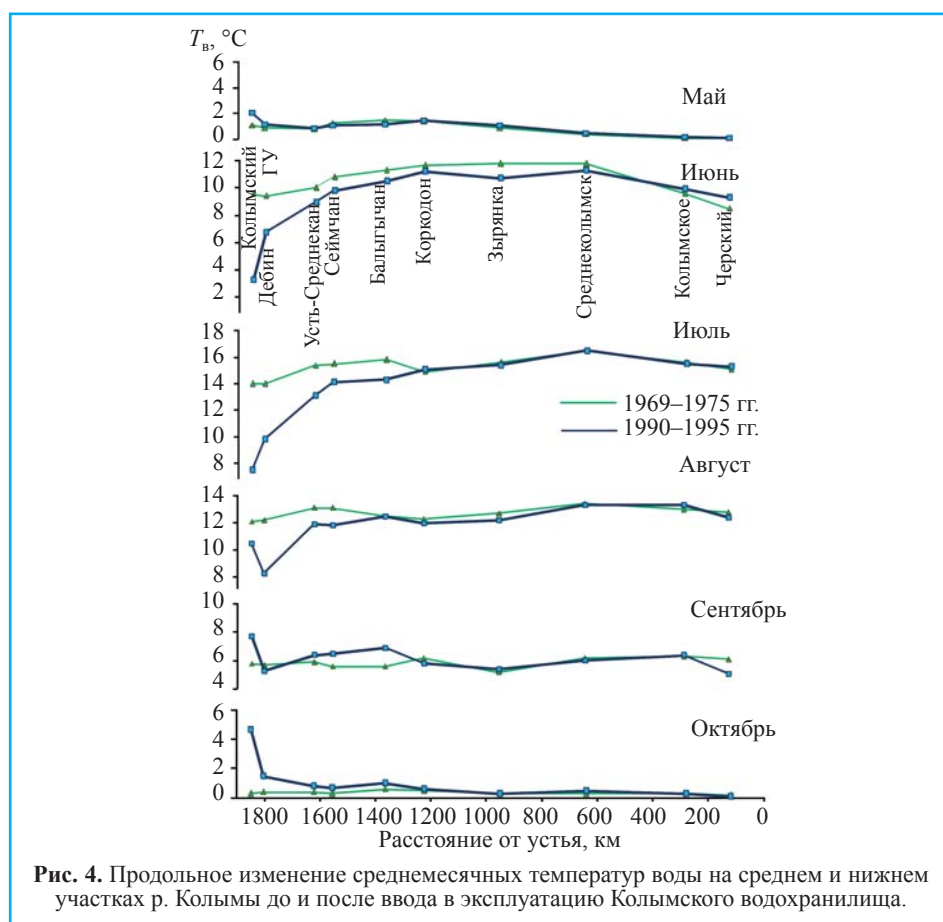


Рис. 4. Продольное изменение среднемесячных температур воды на среднем и нижнем участках р. Колымы до и после ввода в эксплуатацию Колымского водохранилища.

ноярской ГЭС. Естественных значений температура T_v при этом не достигает из-за климатических изменений в регионе, вклада в русловой тепловой баланс теплового стока главной реки и ее притоков. Влияние Новосибирского водохранилища на температуру воды Оби прослеживается на расстоянии от 20–200 до 450–600 км (в зависимости от сезона года). Восстановление теплового состояния Колымы в ноябре–апреле происходит в 40–100 км ниже плотины Колымской ГЭС, в мае–октябре – в 230–620 км, а в июне – в 1450 км (рис. 4). Ниже по течению (от этих границ) температура воды в июне–июле превышает фоновые значения на 0,4–1 °С (пост Черский), в августе и сентябре – на 0,4–0,8 °С. В мае и октябре T_v соответствует фоновым значениям.

В XXI в. по мере потепления климата и увеличения стока воды арктических рек следует ожидать сохранения тенденции к повышению температуры воды и увеличению W_T . В результате усилится отепляющее воздействие речного стока на грунты берегов, морские воды и на климат региона в целом; активность процессов разрушения речных и морских берегов, сложенных многолетнемерзлыми породами; произойдут изменения ледового режима водных объектов устьевых областей, характеристик заторных наводнений, интенсификация биохимических и биологических процессов и повышение самоочищающей способности рек.

Гидрологические условия природопользования в дельтах

Гидрологические процессы в арктических дельтах включают внутригодовые и межгодовые колебания стока и уровней воды, распределение и перераспределение стока по рукавам, затопление дельтовой суши речными и морскими водами, водный баланс дельт и трансформация стока от ВД к МКД, термический режим и ледовые явления и др. Многое из гидрологического режима дельты повторяет гидрологические черты главной реки.

Распределение стока воды по дельтовым рукавам и их системам определяется, в первую очередь, соотношением гидравлико-морфометрических характеристик русел рукавов [15]. Доля стока выше у рукавов с меньшей длиной и шероховатостью русла, с большей шириной и глубиной, с меньшим числом водотоков в структуре русловой сети дельты. Ширина и глубина рукавов подвержены сезонным изменениям вследствие внутригодовой изменчивости стока в вершине дельт. В результате возникает обратимое перераспределение стока между рукавами в течение года. Так, с увеличением стока Лены с 8500 до 85 000 м³/с доля стока рукава Трофимовский уменьшается с 71,4 до 53,2 % (табл. 2). Относительный сток рукавов Оленёкский и Туматский, наоборот, увеличивается с 4,1 до 9 % и с 2,2 до 9,7 % [5]. Уменьшение доли стока рукава вследствие сезонного увеличения стока реки

Таблица 2. Данные по распределению стока воды в арктических дельтах во второй половине XX – начале XXI в. (в период открытого русла) по материалам [1, 5, 16–22] и расчетам авторов

Река	Основные рукава	Тенденции развития и типы дельтовых водотоков	относительное распределение стока между рукавами при разных отношениях расхода воды в реке к среднему расходу, %						
			0,25	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0
Северная Двина	<i>Вершина дельты:</i>		100	100	100	100	100	100	100
	Никольский*	–2,0 %/10 лет	38,0	32,2	29,3	29,0	30,6	32,4	34,3
	Мурманский*	–1,1 %/10 лет	20,2	19,7	18,2	18,0	18,0	17,8	17,3
	Корабельный*	~0 %/10 лет	24,0	21,6	20,9	21,0	21,0	21,3	22,4
	Маймакса*	+1,0 %/10 лет	13,0	19,6	22,3	21,8	19,7	17,4	14,8
	Кузнечиха Рыболовка	~0 %/10 лет –	1,8 3,0	3,1 3,8	4,9 4,3	5,7 4,5	6,2 4,4	6,7 4,5	6,6 4,6
Печора	<i>Вершина дельты:</i>		100	100	100	100	100	100	100
	Большая Печора*	Активный	59,8	56,7	54,7	53,4	53,0	53,1	54,9
	Малая Печора	Пассивный	40,2	43,3	45,3	46,6	47,0	46,9	45,1
	<i>Андегский узел:</i>		100	100	100	100	100	100	100
	Утчер-Шар	Отмирающий	8,4	10,2	11,1	11,3	11,7	12,7	14,8
	Крестовый Шар	Отмирающий	0	0	0,7	2,2	3,3	4,5	5,4
	Средний Шар Месин	Отмирающий Активный	9,1 82,5	24,8 65,0	33,4 54,8	35,6 50,9	37,4 47,6	39,8 43,0	42,9 36,8
Обь	<i>Вершина дельты:</i>		100	100	100	100	100		
	Хаманельская Обь	+1,2 %/10 лет	56,0	54,0	52,5	51,0	49,0		
	Надымская Обь	–1,2 %/10 лет	44,0	46,0	47,5	49,0	51,0		
	<i>Рукава системы Хаманельской Оби:</i>								
	Худобинская Обь	Пассивный	–	14,0	–	–	–		
	Бол. Наречинская	Пассивный	11,1	9,8	8,6	7,7	7,3		
	Мал. Наречинская	Пассивный	–	3,0	–	–	–		
Мурунская Обь	–0,2 %/10 лет	–	6,0	–	–	–			
Мал. Хаманельская	–0,5 %/10 лет	–	3,0	–	–	–			
Енисей	<i>Мыс Мукунинский:</i>		100	100	100	100	100		
	Охотский Енисей	Пассивный	3,8	3,5	3,3	3,3	3,2		
	Малый Енисей	Пассивный	16	22,5	23,7	23,5	22,7		
	Большой Енисей	Активный	77,4	70,2	68,8	68,6	68,8		
	Каменный Енисей (в системе Бол. Енисей)	Пассивный	18,0	14,5	14,3	14,5	15,1		
Лена	<i>Вершина дельты:</i>		100	100	100	100	100	100	
	Булкурская	–0,91 %/10 лет	0	2,9	3,9	5,9	3,9	11,8	
	Главное русло*	+0,91 %/10 лет	100	97,1	96,1	94,1	96,1	88,2	
	<i>Остров Столб:</i>		100	100	100	100	100	100	
	Оленёкская	+0,09 %/10 лет	4,1	5,3	6,0	6,6	7,5	9,0	
	Туматская	+0,11 %/10 лет	2,2	4,2	5,3	6,2	7,6	9,7	
	Трофимовская Быковская*	–0,10 %/10 лет ~0	71,4 22,3	66,4 24,2	63,6 25,1	61,5 25,8	58,2 26,7	53,2 28,0	
Яна	<i>Вершина дельты:</i>		100	100	100	100	100		
	Правая	Активный	25,4	23,6	22,2	20,5			
	Главное русло*	Активный	49,7	45,1	42,6	38,4			
Остальные рукава	Отмирающие	24,9	31,3	35,2	41,1				
Инди-гирка	<i>Вершина дельты:</i>		100	100	100	100	100		
	Русско-Устьинская	Пассивный	37,2	38,5	39,3	39,7	36,2		
	Средняя*	Пассивный	62,8	61,5	60,7	60,3	63,8		
	Колымская (в системе Средней)	Пассивный	8,9	7,6	7,6	8,7	10,5		

Примечание: * – судоходные рукава.

(рукав Трофимовский в дельте Лены, Месин в дельте Печоры, Таз в дельте Таза и др.) указывает на его активность. Такие рукава обычно имеют большие глубины и пригодны для судоходства.

На участке влияния моря на распределение стока между дельтовыми рукавами оказывают влияние приливы (дельты рек Северной Двины и Печоры), нагоны-сгоны (остальные дельты). Например, ветровое повышение уровня на устьевом взморье Оби приводит к уменьшению доли стока Хаманельской Оби, а понижение уровня – к ее увеличению [19, 22]. Закономерность четко выражена в межень. При расходе воды в реке $>15\ 000\ \text{м}^3/\text{с}$ это влияние становится несущественным. Однако непосредственно в приморской зоне этот эффект сохраняется даже при максимальных расходах воды.

Распределение стока взвешенных наносов по водотокам дельты пропорционально распределению стока воды. Дополнительно влекомых наносов больше поступает в рукава с более низким порогом в их истоке. По длине рукавов наносы интенсивно откладываются и по сути происходит «осветление» речных вод. В августе 2005 г. уменьшение мутности воды по длине Оленёкской протоки (в дельте р. Лены) составило 64 %. К устьевым створам Туматской и Сардахской проток мутность воды уменьшалась в 2011–2012 гг. соответственно на 43 и 18 % [23, 24]. Всего в устье Лены, включая устьевое взморье, осаждается примерно 87 % стока речных наносов.

Многолетнее перераспределение стока воды в дельте происходит вследствие естественных или антропогенных изменений параметров русел рукавов, режима речного стока и моря. Арктическим дельтам присуща небольшая интенсивность перераспределения стока (не более 1–2 %/10 лет) (см. табл. 2). Причины – небольшая мутность речных вод, длительный период ледостава и, как следствие, замедленные темпы русловых переформирований. Характерное время активизации и отмирания дельтовых водотоков в арктических дельтах составляет несколько десятилетий для небольших водотоков и столетия – для крупных рукавов.

Обводнение отдельных участков арктических дельт происходит не только по элементам русловой сети, но и за счет перетекания речных вод по дельтовой пойме. Выходы речных вод на пойму случаются во время половодья и реже паводков практически ежегодно. По данным Государственного океанографического института, в дельте Печоры заливается речной водой до 35–65 % поверхности. Нередко выход речной воды на дельтовую поверхность связан с зажорным, заторным, нагонным или нагонно-приливным повышением уровней воды. При заливании освоенной местности возникают наводнения, которые существенно ограничивают возможности хозяйственного освоения дельт. Они представляют реальную угрозу в первую очередь населению и хозяйству дельт Северной Двины и Печоры.

На устьевом участке Северной Двины крупные наводнения до середины XX в. случались примерно 1 раз в 4 года (при повторяемости небольших наводнений почти 1 раз в 1–2 года) [25]. Все наводнения происходили в апреле и мае, во время ледохода, на подъеме и пике весеннего половодья. Стоковое повышение уровней воды в этот период дополняется заторным повышением отметок водной поверхности. Поэтому все максимальные и критические уровни в дельте Северной Двины имеют стоково-заторный генезис. Средняя величина заторного повышения уровня составляет 1,5–2 м, максимальная 3–4 м.

С заторами и стоково-заторными наводнениями в дельте Северной Двины борются с 1915 г. и особенно эффективно с 1950-х гг. В результате повторяемость и мощность заторов уменьшились. Особенно это заметно на участке главного судового хода, где повторяемость заторов сократилась с 30 % в 1939–1961 гг. до 1 % в 1962–2004 гг., средняя продолжительность заторов – с 62 до 6 ч [26]. Максимальные уровни весеннего половодья уменьшились на 0,5 м, средние ледоходные максимумы уровня воды – на 0,7 м. Частота сравнительно крупных наводнений сократилась в 2–3 раза.

В дельте Печоры наводнения также имеют стоково-заторный генезис. За 1931–2011 гг. в вершине дельты (пост Оксино) подъемы уровня выше отметки неблагоприятного явления наблюдаются с повторяемостью 28 %, а опасного явления – 7,4 %. У г. Нарьян-Мара (дельта) эти показатели составили 12 и 1,2. В июне 1998 г., во время наиболее масштабного наводнения, было затоплено около 85 % территории г. Нарьян-Мара, из них 65 % жилой застройки. Борьба с наводнениями и их факторами здесь ограничивается, главным образом, сооружением защитных дамб, ослаблением ледяного покрова и разрушением заторов льда.

Ледовые явления играют в арктических дельтах неоднозначную роль. С одной стороны, большая продолжительность периода с ледоставом ослабляет процессы переформирования русел и берегов, перераспределения стока между рукавами, обеспечивает транспортную (по «зимникам») доступность дельтовых территорий. С другой стороны, ледовые явления могут напрямую угрожать объектам в дельтах, разрушать берега и переходы во время интенсивного ледохода, создавать навалы льда на берегах. Зажоры и заторы льда могут инициировать другие опасные гидрологические явления, например, мощные заторные или смешанного генезиса наводнения. Поэтому ледовый режим устьевых водных объектов и его изменения требуют непрерывного и пристального мониторинга и изучения.

В устье Северной Двины осенние ледовые явления начинаются в третьей декаде октября, ледостав устанавливается в первой половине ноября. Продолжительность ледостава и периода со всеми ледовыми явлениями составляет около 170 и 190 дней. Максимальная толщина льда достигает

80 см. Весенний ледоход длится примерно неделю, часто сопровождается заторами льда. По сведениям [26], мощные заторы льда в нижнем течении Северной Двины образуются в среднем 6–8 раз в 10 лет. Суровость ледового режима усиливается с продвижением с запада на восток: примерно на 70 дней увеличивается продолжительность периода ледостава и периода со всеми ледовыми явлениями, в 2,5–3 раза – максимальная толщина льда. В самих дельтах характеристики ледового режима изменяются в зависимости от размера, водоносности и местоположения дельтовых рукавов, от размера и вытянутости в северном направлении дельты.

На ледовый режим арктических рек и дельтовых водотоков серьезное воздействие оказывает потепление климата и его гидрологические последствия. Оно привело к уже фиксируемому данными наблюдений уменьшению продолжительности периода с ледовыми явлениями в низовьях и устьях арктических рек, к ослаблению мощности ледяного покрова [27–29]. Сроки появления льда в низовьях и устье Северной Двины сместились в течение 1900–2005 гг. на 5 дней (по тренду) в сторону более поздней даты, Оби +4, Енисея +3 дня. У других крупных арктических рек лед появляется обычно позже на 1–2 дня. Причем в последние десятилетия отмечается усиление этой тенденции, а к концу XXI в. ожидают еще более позднее (в среднем на 7–11 дней) появление льда в низовьях и дельтах арктических рек России. Четкой однозначной тенденции в отклонениях дат вскрытия пока нет (от (–2)–(–3) дней у рек Северная Двина, Яна, Индигирка, Колыма до +2 дней у Печоры и Лены), но, как предполагается, к концу XXI в. оно будет начинаться раньше – примерно на 9–13 дней. Продолжительность периода с ледовыми явлениями статистически значимо сократится. Смягчение ледового режима благоприятно повлияет на продолжительность навигации, но усилит другие риски.

Выводы

Гидрологические ограничения для современного и ожидаемого в перспективе природопользования в арктических дельтах испытывают заметные изменения. Они дополняются также трансформацией структуры дельтовых водотоков, изменением составляющих речного стока в дельтовых водотоках, которое неизбежно отражается на условиях существования водных и околоводных биоценозов. Основной причиной возникновения гидрологических ограничений для населения и хозяйства является климатическое изменение составляющих речного стока. Техногенные нагрузки могут влиять на условия трансформации стока в пределах лишь дельты Северной Двины. Здесь многовековая и масштабная хозяйственная деятельность оказывает относительно большое влияние на гидрологический режим устьевых водных объектов.

С 1980-х годов дельты арктических рек и природопользование в регионе развиваются в условиях возросшего (на 4–7 %) стока воды. Наиболее сильно возрос зимний сток. На фоне заметного повышения температуры воздуха и воды произошло уменьшение ледовитости прибрежной зоны арктических морей, продолжительности ледостава на реках региона, увеличение мутности речных вод. На гидрологический режим низовий Енисея и Колымы заметное влияние оказывает регулирование стока, вызвавшее изменение внутригодового распределения стока, уменьшение мутности и стока наносов (в 5,1 и 1,9 раза соответственно) и снижение теплового стока.

Современные опасные гидрологические явления в арктических дельтах России развиваются на фоне небольшого увеличения стока воды от вершины к морскому краю дельт, обратимых внутригодовых перераспределений стока между рукавами и замедленного (не более 1–2 %/10 лет) многолетнего перераспределения, активизации русловых переформирований, затопления дельтовой суши речными и морскими водами, приводящего к ущербам в дельтах Северной Двины и Печоры, все большего антропогенного преобразования природных условий и ландшафтов, особенно в урбанизированных и обеспеченных месторождениями углеводородов дельтах. Смягчение ледовых условий оказывает благоприятное влияние на судоходство и одновременно создает новые гидрологические риски.

Ожидается, что воздействие гидрологических факторов на безопасность природопользования в арктическом регионе страны сохранится. Оно будет связано с прогнозируемым увеличением стока воды арктических рек к середине XXI в. на 4–14 % (относительно нормы стока в 1961–1990 гг.), повышением температуры воздуха и воды, уровня морей, уменьшением их ледовитости, деградацией мерзлоты, увеличением масштаба техногенных нагрузок на водосборы и собственно дельты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геоэкологическое состояние арктического побережья России и безопасность природопользования / под ред. Н.И. Алексеевского. М.: ГЕОС, 2007. 585 с.
2. Михайлов В.Н. Устья рек России и сопредельных стран: прошлое, настоящее и будущее. М.: ГЕОС, 1997. 413 с.
3. Водные ресурсы России и их использование / под ред. проф. И.А. Шикломанова. СПб.: ГИ, 2008. 600 с.
4. Груза Г.В., Ранькова Э.Я. Колебания и изменения климата на территории России // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2003. Т. 39. № 2. С. 166–185.
5. Магрицкий Д.В. Естественные и антропогенные изменения гидрологического режима низовьев и устьев рек Восточной Сибири: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2001. 25 с.
6. Магрицкий Д.В. Антропогенные воздействия на сток рек, впадающих в моря Российской Арктики // Водные ресурсы. 2008. Т. 35. № 1. С. 1–14.
7. Мелешко В.П., Катцов В.М., Мирвис В.М., Говоркова В.А., Павлова Т.В. Климат России в XXI веке. Часть 3. Будущие изменения климата, рассчитанные с помощью ансамбля

- моделей общей циркуляции атмосферы и океана CMIP3 // Метеорология и гидрология. 2008. № 9. С. 5–21.
8. *Мохов И.И., Семенов В.А., Хон В.Ч.* Оценка возможных изменений гидрологического режима в XXI веке на основе глобальных климатических моделей // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2003. Т. 39. № 2. С. 150–165.
 9. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Т. 2. Последствия изменений климата. М. 2008. 290 с.
 10. *Bates B.C., Kundzewicz Z.W., Wu S. and Palutikof J.P., Eds., 2008: Climate Change and Water. Technical Paper of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC Secretariat, Geneva, 210 p.*
 11. *Антохина Е.Н.* Водный режим рек европейской территории России и его изучение на основе модели формирования стока): автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2012. 27 с.
 12. *Михайлов В.Н., Магрицкий Д.В., Михайлова М.В.* Баланс воды и наносов в устьях рек // Маккавеевские чтения-2005. М. 2006. С. 47–64.
 13. *Магрицкий Д.В.* Годовой сток взвешенных наносов российских рек водосбора Северного Ледовитого океана и его антропогенные изменения // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2010. № 6. С. 17–24.
 14. *Магрицкий Д.В.* Тепловой сток рек в моря Российской Арктики и его изменения // Вестник Моск. ун-та. Сер. 5. География. 2009. № 5. С. 69–77.
 15. *Михайлов В.Н.* Гидрология устьев рек. М.: Изд-во МГУ, 1998. 176 с.
 16. *Алабян А.М., Бабич Д.Б., Богомолов А.Л., Заец Г.М., Коротаев В.Н., Михайлов В.Н., Сидорчук А.Ю., Чалов Р.С.* Современные процессы дельтообразования и история развития дельты Енисея // ДЕП ВИНТИ. 1991. № 3013-В 91. 151 с.
 17. *Бабич Д.Б., Коротаев В.Н., Магрицкий Д.В., Михайлов В.Н.* Нижняя Индигирка: устьевые и русловые процессы. М.: ГЕОС, 2001. 202 с.
 18. Нижняя Яна: устьевые и русловые процессы / отв. ред. В.Н. Коротаев, В.Н. Михайлов, Р.С. Чалов. М.: ГЕОС, 1998. 210 с.
 19. *Пискун А.А.* Анализ водного и руслового режима дельты Оби // Водные ресурсы. 2002. Т. 29. № 4. С. 395–404.
 20. *Полонский В.Ф.* Распределение стока воды в устьевой области Печоры и тенденция его изменения // Тр. ГОИН. 1984. Вып. 172. С. 96–110.
 21. *Полонский В.Ф., Кузьмина В.И.* О распределении стока в дельте Северной Двины // Тр. ГОИН. 1986. Вып. 179. С. 49–56.
 22. *Рудых С.В.* Обеспечение судоходных условий на устьевых участках северных рек (на примере Ямсальского бара реки Оби): автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПб., 2004. 23 с.
 23. *Алексеевский Н.И., Айбулатов Д.Н., Куксина Л.В., Четверова А.А.* Особенности структуры водотоков в дельте Лены и ее влияние на процессы трансформации речного стока // География и природные ресурсы. 2014. № 1. С. 91–99.
 24. *Федорова И.В., Большианов Д.Ю., Макаров А.С., Третьяков М.В., Четверова А.А.* Современное гидрологическое состояние дельты р. Лены // Система моря Лаптевых и прилегающих морей Арктики: современное состояние и история развития. М.: Изд-во МГУ, 2009. С. 278–291.
 25. *Magritsky D., Lebedeva S., Polonsky V., Skripnik E.* Inundations in the delta of the Northern Dvina River // Journal of the Geographical institute «Jovan Cvijić» SASA. 2013. Vol. 63. No. 3. P. 133–145.
 26. *Васильев Л.Ю.* Весеннее наводнение и противозаторные мероприятия в устьевой области Северной Двины // Наводнения и другие опасные гидрологические

- явления: оценка, прогноз и смягчение негативных последствий: сб. докладов. М. 2006. С. 223–229.
27. *Агафонова С.А.* Ледовый режим рек Севера европейской территории России и его влияние на гидроэкологическую безопасность территории: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2009. 26 с.
28. *Гинзбург Б.М.* Сроки замерзания и вскрытия рек в конце XX века и возможные их изменения в конце XXI века // *Метеорология и гидрология*. 2005. № 12. С. 37–88.
29. *Фролова Н.Л., Агафонова С.А., Полякова А.Н.* Опасные гидрологические явления в низовьях арктических рек России // *Геоэкологическое состояние арктического побережья России и безопасность природопользования* / под ред. Н.И. Алексеевского. М.: ГЕОС, 2007. С. 355–390.

Сведения об авторах:

Алексеевский Николай Иванович, д-р геогр. наук, профессор, заведующий кафедрой гидрологии суши, географический факультет, ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», 119991, Москва, Ленинские горы, 1; e-mail: n_alex50@mail.ru

Магрицкий Дмитрий Владимирович, канд. геогр. наук, доцент, кафедра гидрологии суши, ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», 119991, Москва, Ленинские горы, 1; e-mail: magdima@yandex.ru

Михайлов Вадим Николаевич, д-р геогр. наук, профессор, кафедра гидрологии суши, ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», 119991, Москва, Ленинские горы, 1; e-mail: newdelta@mail.ru