

## ВОДОПОТРЕБЛЕНИЕ НА ВОДОСБОРАХ АРКТИЧЕСКИХ РЕК И В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ: ПАРАМЕТРЫ, СТРУКТУРА, МНОГОЛЕТНЯЯ ДИНАМИКА\*

**Д.В. Магрицкий**

E-mail: magdima@yandex.ru

*ФГБОУ ВО «Московский государственный университет  
имени М.В.Ломоносова», Москва, Россия*

**АННОТАЦИЯ:** Водопотребление в Арктической зоне Российской Федерации (АЗРФ) и на водосборах арктических морей, несмотря на огромные размеры этих регионов и их долю в общей площади страны (около 18 и 71 % соответственно), сравнительно небольшое. Это объективное следствие очень малой заселенности и хозяйственного освоения арктических территорий. На водосборах арктических морей в 2006–2017 гг. изымалось в среднем 21,3 км<sup>3</sup>/год, а в пределах Арктической зоны РФ – 2,6 км<sup>3</sup>/год (28,8 и 3,5 % общероссийской величины соответственно). Объемы сброса использованных вод на водосборах морей Российской Арктики сопоставимы с объемами водозабора – 15,2 км<sup>3</sup>/год или 71 %. Еще меньше разница между ними в пределах Арктической зоны. Статистически значимого влияния водопотребления на водные ресурсы арктических рек, дефицита водных ресурсов в регионе нет и не прогнозируется. Современное водопотребление также характеризуется, по сути, его отсутствием на многих территориях; существенно меньшими величинами (на 30–50 %) в сравнении с показателями 1980-х гг. и его увеличением в районах развития нефтегазовой добычи; доминированием в отраслевой структуре водопотребления промышленных предприятий, теплоэнергетики и коммунального хозяйства; исключительной ролью речного стока.

В рамках проведенного исследования составлена оригинальная карта, иллюстрирующая величину и характер пространственного изменения водохозяйственных показателей в АЗРФ; систематизированы различные по происхождению и полноте данные, в т. ч. из альтернативных источников информации; реализован метод анализа водохозяйственной деятельности с переходом от макромасштабного уровня к конкретным районам, населенным пунктам и водопотребителям.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** Арктика, река, бассейн, водопотребление, водозабор, водоотведение, сточные воды, структура водохозяйственного комплекса, потери речного стока.

© Магрицкий Д.В., 2019

\* Исследования выполнены за счет гранта РНФ 14-37-00038 (раздел «Водопотребление в бассейнах арктических рек»), РФФИ 18-05-60021 (раздел «Водопотребление в Арктической зоне России и влияние забора воды на речной сток») и РФФИ 18-05-60219 («Водоотведение, сточные воды и качество воды»).

Арктике, освоению ее минеральных, биологических и водно-транспортных ресурсов, развитию инфраструктуры, улучшению качества жизни коренного населения, мониторингу и изучению фиксируемых региональных климатических изменений и их последствий, охране окружающей среды, обоснованию новых границ исключительной экономической зоны и континентального шельфа с каждым годом уделяется все больше внимания. Так, 17 сентября 2008 г. утверждены «Основы государственной политики РФ в Арктике на период до 2020 г.», 21 апреля 2014 г. – государственная программа «Социально-экономическое развитие Арктической зоны РФ (АЗРФ) на период до 2025 г.». 2 мая 2014 г. издан Указ Президента РФ «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации», 26 февраля 2019 г. создано Министерство по развитию Дальнего Востока и Арктики, в 2019 г. планируется принятие новой стратегии развития российской Арктики до 2035 г. Ежегодно проводится международный форум «Арктика – территория диалога». Растет финансирование научных исследований и природоохранной деятельности в Российской Арктике. Огромные средства в изучение и развитие арктической ресурсной базы вкладывают крупные государственные и коммерческие компании.

В этой деятельности особое место занимают вопросы управления водными объектами – неотъемлемой и, по сути, главной части арктического природного комплекса. В их числе – реакция водных экосистем на климатические изменения и хозяйственную деятельность; роль речного стока в наблюдаемых в Арктике процессах; гидрологические ограничения водопользования, в т. ч. со стороны опасных гидрологических процессов; новые технологии мониторинга, изучения и численного описания гидрологических процессов; улучшение информационного обеспечения водопользования и др.

Задачей проведенного исследования стал сбор, систематизация данных и формирование достоверного количественного и визуального представления о масштабах, географии, структуре, изменчивости водопотребления в регионе, а также степени влияния водопотребления на водный режим и ресурсы арктических рек, качество речных вод. Следует отметить, что к водопотребителям автор относил отрасли, которые изымают воду из естественных водоисточников (водотоков, водоемов, водоносных пластов), потребляют ее для выработки промышленной или сельскохозяйственной продукции, бытовых нужд населения и возвращают, как правило, в другом месте, в меньшем количестве и худшего качества [1, 2]. Это – промышленность, тепловая и атомная энергетика, сельское и коммунальное хозяйство. Принимались во внимание также потери воды на испарение с водохранилищ, на первоначальное заполнение и водонасыщение грунтов ложа водохранилищ. В такой постановке задача ранее не решалась.

Первые оценки объемов водопотребления в бассейнах арктических рек России появились в работах [3–7]. В дальнейшем, в работах [8–11], эти оценки были актуализированы, но без расширения перечня рассматриваемых вопросов. Среди других исследований необходимо упомянуть монографии ИГ РАН, МГУ, РосНИИВХ, ААНИИ и ГХИ [3, 6, 12, 13], посвященные водопотребителям и их воздействию на качество арктических речных вод. В Национальном атласе Арктики [14] представлена всего одна карта, характеризующая водопотребление в 2014 г. и только на уровне субъектов РФ, чья территория полностью или частично входит в Арктическую зону Российской Федерации.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Доступ к исчерпывающим данным по искусственным заборам и сбросам речных, озерных и подземных вод, антропогенным изменениям речного стока и другим аспектам водохозяйственной деятельности, по-прежнему, затруднен. Впрочем, эта ситуация характерна не только для России. В Китае, например, такие сведения вообще относят к закрытой информации. У нас в последние 10–15 лет ситуация с информационным обеспечением изменилась в лучшую сторону. Так, за 2015–2017 гг. многие данные в свободном доступе на сайте ГГИ [15], за 2017 г. – на сайте Автоматизированной информационной системы государственного мониторинга водных объектов Российской Федерации (АИС ГМВО). Расширена их структура, перечень объектов и участников водохозяйственного комплекса. Другой вопрос – полнота и достоверность имеющихся данных: во-первых, не все водопотребители отчитываются по форме №2-ТП (водхоз); во-вторых, представленные сведения порой не отражают реальную ситуацию, в т. ч. по причине отсутствия у респондентов соответствующих приборов и станций учета, квалифицированных кадров.

Основным источником информации об объемах использования поверхностных и подземных вод в Российской Федерации служат данные государственного статистического наблюдения, собираемые Федеральным агентством водных ресурсов и Федеральной службой государственной статистики. Их ежегодно публикуют в издаваемом с 1981 г. «Водном кадастре РФ. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество» [16] и его аналоге «Воды России. Состояние, использование охрана» [17]; с 2006 г. издается сборник «Водные ресурсы и водное хозяйство России. Статистический сборник» [18]; а также в составляемых с конца 1990-х – начала 2000-х годов докладах о состоянии и об охране окружающей среды. В первых двух справочниках указываются объемы забранной, использованной и сброшенной воды не только по субъектам РФ, но и по водосборам крупных рек и морям, а также величины потерь на испарение с

водохранилищ и на их заполнение, данные по антропогенному изменению стока. По арктическому бассейну РФ представлены сведения по рекам Печенга, Онега, Северная Двина, Мезень, Печора, Обь, Енисей, Пясины, Лена, Индигирка и Колыма. Благодаря этому в ходе данной работы удалось сформировать многолетние ряды соответствующих водохозяйственных показателей по основным арктическим рекам за период 1981–2017 гг., по отдельным субъектам РФ – Мурманская (с 1996 г.) и Архангельская области (с 2003 г.), Ямало-Ненецкий (с 2004 г.) и Чукотский АО (с 2004 г.) – и в целом для Российской Федерации.

Еще одним источником данных стали материалы из обновленных к 2015 г. «Схем комплексного использования и охраны водных объектов» (СКИОВО), размещенные в открытом доступе на сайтах Амурского, Енисейского, Нижне-Обского и Двинско-Печорского бассейновых водных управлений [19–22]. Уникальность этих данных – в существенно большем перечне рек, по которым приводится информация по заборам и сбросам вод (как правило, за 1–2 года), публикации сведений по конкретным водопотребителям и прогнозных оценок по изменению объемов водопотребления к середине и концу 2020-х годов.

Не совсем обычным источником исходных данных стали открытые документы муниципальных образований – схемы водоснабжения и водоотведения, теплоснабжения, программы комплексного развития систем коммунальной инфраструктуры населенных пунктов, а также годовые отчеты предприятий. Пример таких документов можно найти на сайте МО Булунынский улус [23]. Благодаря этим информационным источникам и материалам СКИОВО автору удалось укомплектовать разнообразными водохозяйственными данными так называемый «Электронный каталог арктических водопотребителей Чукотского АО, арктических районов Республики Саха (Якутия) и Красноярского края» (ЭКАВ). Таких водопотребителей оказалось почти 230. Кроме того, в ЭКАВ помещены сведения о постоянных или эпизодически возникавших проблемах в водопользовании.

Дополнительно в исследовании и при анализе его результатов использованы материалы других научных коллективов [3, 4, 12, 24–25]. При сравнении показателей суммарного водопотребления на водосборах арктических рек РФ и величин стока в их устьях использованы данные по его величине (на замыкающих и в устьевых створах), частично опубликованные автором в работах [6, 11, 26].

В итоге удалось впервые достоверно оценить для бассейнов основных рек, отдельных территорий Арктической зоны РФ (АЗРФ) масштабы современного забора поверхностных и подземных вод, сбросы сточных вод; построить тематические карты и диаграммы; изучить особенности отрас-

левой и гидрографической структуры, пространственно-временной изменчивости показателей водопотребления; сравнить разные по происхождению данные; уточнить приводимые в [7–8] оценки.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ОБСУЖДЕНИЕ

### Анализ исходных данных

Сравнение данных, опубликованных в [16, 18] и региональных докладах о состоянии и об охране окружающей среды, в целом показало их сопоставимость, что вполне ожидаемо с учетом общего информационного источника. Тем не менее, обнаружено много случаев различия (за отдельные годы) приводимых в разных справочниках значений – от 1,5–3,5 % (величины забора/сброса) для бассейна р. Оби до 10–15 % для Северной Двины, 20 % для Лены, двух-трехкратной разницы для Ямало-Ненецкого АО. В ряде изданий за отдельные годы сообщается об отсутствии водопотребления на тех или иных территориях (например, в бассейне р. Колымы в 2016–2017 гг.), тогда как в действительности это не так. Имеются разночтения и по вкладу разных водоисточников в суммарную величину водозабора, т. е. по так называемой гидрографической структуре водозабора.

Сравнение данных из официальных справочников и данных, составляющих основу ЭКАВ АЗРФ, также показало их сопоставимость. Серьезные отклонения обнаружены для арктической части бассейнов рек Яны и Анабара (в 1,5 раза) и особенно нижнего течения Енисея (86 против официальных 20–30 млн м<sup>3</sup>/год). Вероятные причины, в частности для арктического участка Енисея и его бассейна, – это не учет справочниками [16, 18] огромного водозабора, осуществляемого на вводимых в эксплуатацию месторождениях ТЭК и вахтовыми поселками. Тем не менее, можно констатировать, что открытые документы муниципальных образований, годовые отчеты предприятий и методики расчета объемов водопотребления в зависимости от особенностей и показателей производства, характера коммунальной инфраструктуры населенного пункта и числа его жителей – перспективные альтернативные и вполне достоверные источники сведений о структуре и масштабах водопотребления. Мало того, эти данные содержат много другой полезной водохозяйственной информации и, по мнению автора, в ряде случаев предоставляются более надежными.

### Водопотребление в бассейнах арктических рек в 1980-е годы

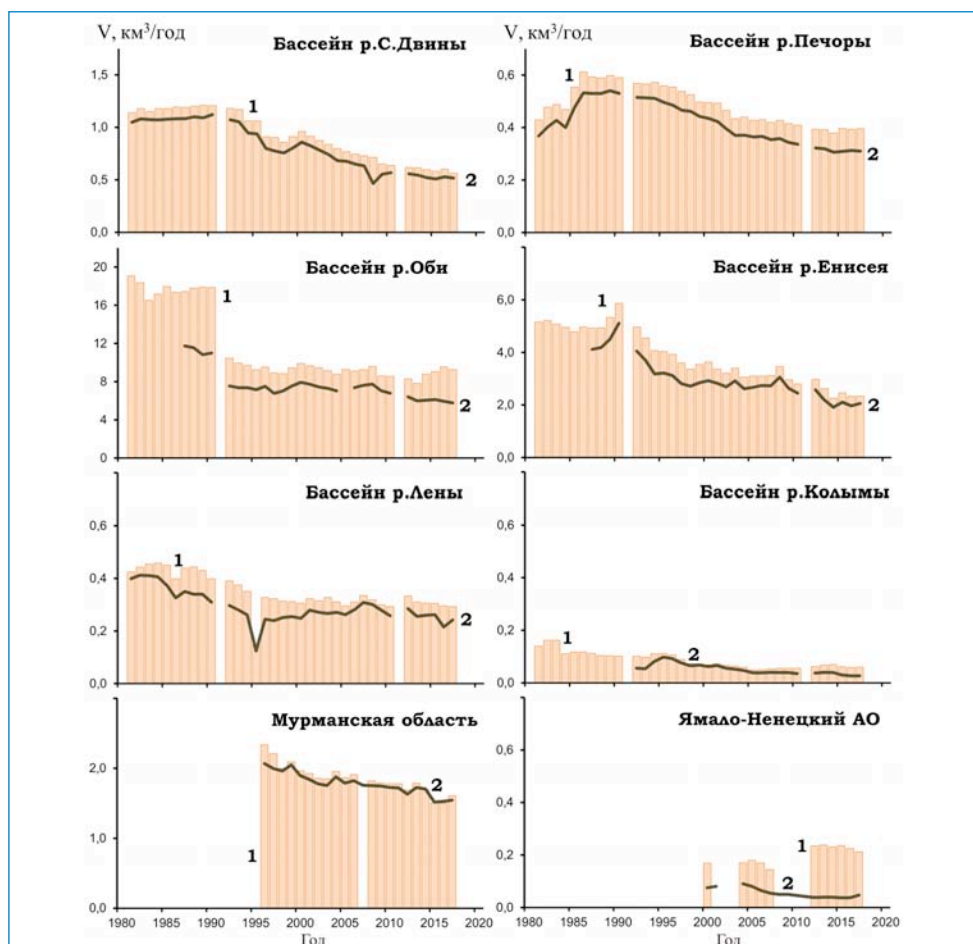
Потребление воды и отведение сточных вод в бассейнах арктических рек РФ достигло наибольших значений во второй половине 1970-х и в 1980-х годах (рис. 1) – приблизительно 28,9 и 20,7 км<sup>3</sup>/год (15,8 % на водосборах Белого и Баренцева морей, 82 % – на водосборе Карского моря). Для сравнения, с 1981 по 1990 гг. суммарный водозабор в России составлял ~111 км<sup>3</sup>/год (с морскими водами – 117 км<sup>3</sup>/год), а объемы сточных вод ~75,6 км<sup>3</sup>/год.

Увеличение к 1980-м годам нагрузки на водные ресурсы региона произошло благодаря выросшим потребностям производственного комплекса в период экстенсивного развития экономики, увеличению численности населения, переходу большого числа населенных пунктов на централизованное водо- и теплоснабжение. При этом, в бассейнах многих арктических рек водозабор был сравнительно небольшим или практически отсутствовал. Даже в бассейнах наиболее освоенных в хозяйственном отношении рек – Северной Двины, Оби и Енисея – в период 1981–1990 гг. изымалось соответственно 1,26, 17,85 (67 % в России, 33 % в Казахстане) и 5,36 км<sup>3</sup>/год воды или 1,2 %, 4,3 % и 0,8 % их стока в моря с учетом данных [11]. Из рек Мурманской области, наиболее промышленно развитого субъекта АЗРФ, забиралось ~2,5 км<sup>3</sup>/год, или 3,6 %. Эти объемы сравнимы с погрешностями расчета среднемноголетнего стока, поэтому можно говорить об отсутствии статистически значимого антропогенного влияния на водные ресурсы рек. Не было здесь в 1980-е годы и так называемого «водного стресса», который, согласно Всемирной программе оценки воды (WWAP), появляется при отношении водозабора к водным ресурсам равном 10 %.

Больше всего свежей воды изымалось из речной сети: от 73–79 % в бассейнах Печоры, Лены и Колымы до 85–90 % у других рассматриваемых рек. Остальную часть составили подземные (до 10–20 %), озерные и даже морские (в устьях некоторых рек) воды. Основными водопотребителями в 1980-х годах были промышленность и теплоэнергетика, коммунальное хозяйство. В бассейнах Оби и Енисея на эти отрасли приходилось 80–90 % изымаемых вод, на севере европейской территории страны и Сибири – почти все 100 % [8]. Орошение и водоснабжение сельхозпредприятий – один из видов водопотребления в степных и лесостепных районах бассейнов Оби, Енисея и Лены.

В отличие от рек южных морей России основная часть воды, изъятая в бассейнах арктических рек, возвращается обратно в водные объекты (рис. 1). Разность этих объемов характеризует, так называемое, безвозвратное водопотребление, которое приводит, в т. ч. к систематическому снижению стока воды рек [4, 28]. У Печоры, Северной Двины, Енисея и Лены безвозвратное водопотребление составило соответственно 0,15, 0,12, 1,0 и 0,07 км<sup>3</sup>/год или 12, 20, 19 и 16 % исходного водозабора. Тогда как прямое антропогенное уменьшение годового стока, как разность забора речных плюс подземных (с ущербом для речного стока) вод и сбросов сточных вод обратно в реки зафиксировано намного меньше: практически близкое к 0 км<sup>3</sup>/год – р. Онега, 0,09 – Северная Двина, близкое к 0 – Мезень, 0,025 – Печора, 0,67 – Енисей, 0,043 – Лена, 0,03 км<sup>3</sup>/год – Колыма, т. е. < 0,1 % величины годовых водных ресурсов этих рек. По другим рекам открытых данных за 1980–1990 гг. нет.





**Рис. 1.** Диаграммы многолетних изменений объемов поверхностного и подземного водозабора (1) и сброса сточных вод (2) в бассейнах главных арктических рек и на территории субъектов АЗРФ: для бассейна р. Оби данные после 1991 г. приводятся только по территории РФ, источник первичных данных [16, 18, 27]; данные за 1991 и 2011 гг. в [16] не опубликованы.

Fig. 1. Diagrams of many-year changes of surface and groundwater withdrawal volumes (1) and waste water discharge (2) in the main Arctic rivers' basins and on the territory of Arctic zone of the Russian Federation: for the Ob river basin the data after 1991 are cited only for the territory of the RF; initial date source [16, 18, 27]; data for 1991 and 2011 are not given in [16].

Наибольших величин безвозвратное водопотребление достигало в 1980-е годы в Обь-Иртышском бассейне ( $6,4 \text{ км}^3/\text{год}$ ) из-за аридных условий водообеспечения, более развитого производственного комплекса и сельского хозяйства, большей численности населения, межбассейновой переброски стока. С потерями на испарение с водохранилищ в бассейне

р. Оби, на заполнение Шульбинского водохранилища в 1980-х годах безвозвратные потери вырастают до  $12 \text{ км}^3/\text{год}$  (3,1 % стока Оби в этот период) или до  $13 \text{ км}^3/\text{год}$  (3,4 %), если брать в расчет только сбросы в реки. Погрешность расчета нормы стока равна 2,5 %, т. е. это уже серьезно и корректирует озвученные в [7–8, 11] выводы. Похожие оценки ( $12 \text{ км}^3/\text{год}$ ) приводятся в работе Д.Я. Ратковича [25]. Для более ранних лет им получено:  $1,6 \text{ км}^3/\text{год}$  в 1936–1940 гг.,  $2,4$  в 1946–1950 гг.,  $7,5$  в 1956–1960 гг.,  $8,1$  в 1966–1970 гг.,  $10,2 \text{ км}^3/\text{год}$  в 1976–1980 гг. Но это максимально возможное антропогенное воздействие, поскольку, учитывая лишь дополнительные потери на испарение [29], снижение потерь стока зарегулированных рек по причине сокращения продолжительности и масштабов затопления поймы [30], антропогенное уменьшение стока Оби будет, как минимум, на  $6 \text{ км}^3/\text{год}$  меньше. Для некоторых рек на юге Обь-Иртышского бассейна и в Уральском экономическом районе хозяйственное использование стока достигало предельных значений, соответствующих возникновению дефицита пресных вод [7, 31].

Антропогенное уменьшение стока Енисея с учетом общего испарения с поверхности многочисленных и больших водохранилищ, их наполнения, составило  $5,55 \text{ км}^3/\text{год}$ . По [25], в периоды 1936–1940, 1946–1950, 1956–1960, 1966–1970 и 1976–1980 гг. оно исчислялось  $0,2, 0,3, 0,8, 7,6$  и  $19,4 \text{ км}^3/\text{год}$ .

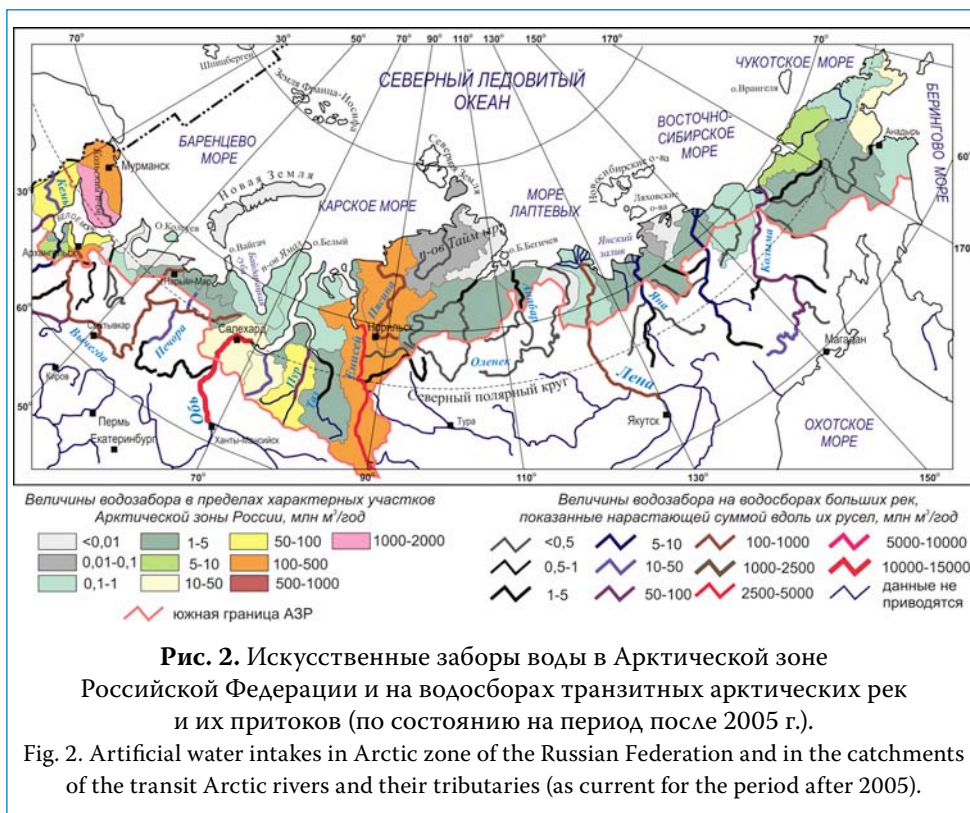
### **Современное водопотребление в бассейнах арктических рек и в Арктической зоне Российской Федерации: отраслевые и территориальные особенности**

Период максимального антропогенного воздействия на водные ресурсы рек сменился годами экономического кризиса и значительным снижением объемов водопользования. К 2006–2017 гг. (современному этапу с относительно установившимися показателями водопользования) итоговое сокращение объемов водозабора составило около 30 % у Печоры, Лены и рек Мурманской области, 50 % у Северной Двины, Енисея и Колымы. Часть снижения объемов водопотребления объясняется переходом на водосберегающие технологии. Показательный пример – Норильский комбинат.

В настоящее время наибольший забор воды наблюдается в Мурманской области ( $1,72 \text{ км}^3/\text{год}$ ), бассейне Северной Двины ( $0,64 \text{ км}^3/\text{год}$ ), р. Оби (приблизительно  $14,7 \text{ км}^3/\text{год}$ :  $\sim 8,9 \text{ км}^3/\text{год}$  на территории РФ,  $\sim 2,8$  – Казахстана [32],  $\sim 3,0$  – Китая [33]) и Енисея ( $2,77 \text{ км}^3/\text{год}$ ) (табл. 1). Отмечен его рост в Ненецком и Ямало-Ненецком АО благодаря интенсивному развитию нефтегазового комплекса (рис. 1). Однако многие территории и реки в АЗРФ, по-прежнему, практически не охвачены водохозяйственной деятельностью (рис. 2). Всего на водосборах арктических морей России изымается  $21,28 \text{ км}^3/\text{год}$  (табл. 2), а в пределах АЗРФ –  $2,58 \text{ км}^3/\text{год}$ , или 12,1 %. Для сравнения, в России суммарный водозабор был  $68,3 \text{ км}^3/\text{год}$  (с морскими водами – около  $74 \text{ км}^3/\text{год}$ ).



Приводимые в первой части табл. 2 авторские оценки по водопотреблению в бассейнах арктических морей РФ хорошо согласуются с данными из [18] для Баренцева, Лаптевых и Восточно-Сибирского морей, но превышают показатели для Белого моря в 2,2 раза, для Карского моря – в 1,5 раза. Последнее можно объяснить неучетом в [18] водопотребления на территории Казахстана и Китая.

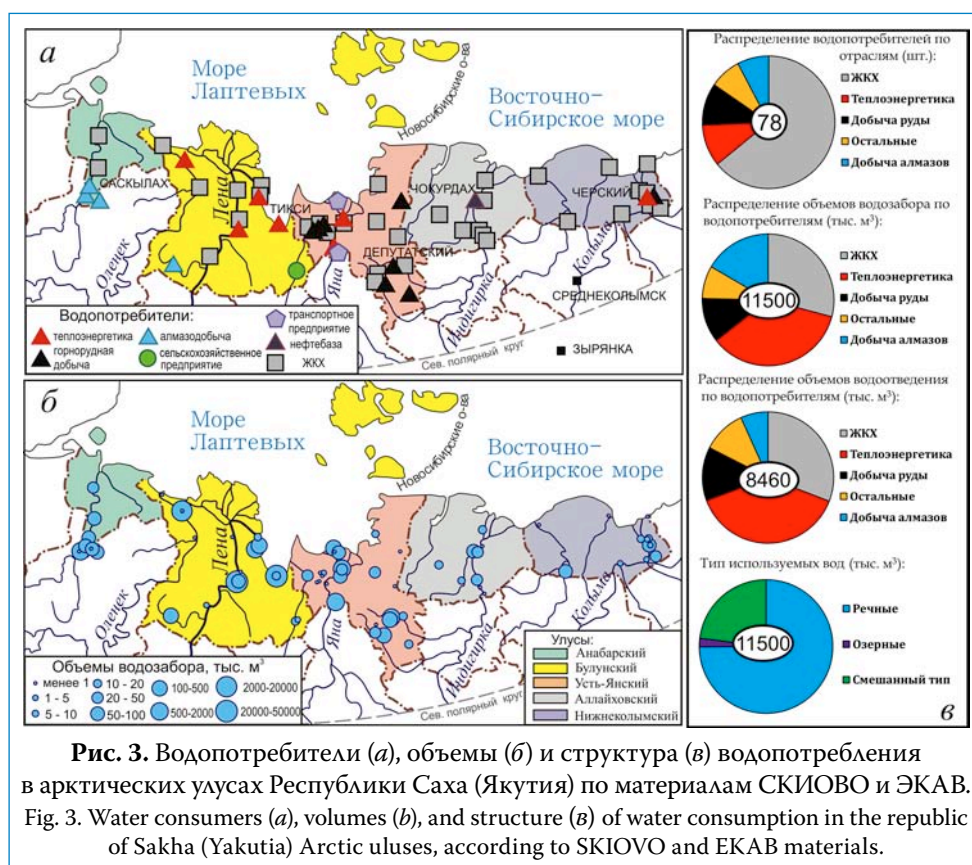


Через 10–15 лет ранее упомянутые показатели, согласно обобщенным оценкам из СКИОВО, могут вырасти для РФ в 1,5 раза. Это не приведет к негативным изменениям водных ресурсов арктических рек, поскольку в настоящий период компенсируется климатическим увеличением стока. Так, в 1976–2015 гг. среднее увеличение годового притока речных вод в моря Российской Арктики, по сравнению с 1936–1975 гг., составило ~150 км<sup>3</sup>/год [11].

В сравнении с 1980-ми годами у ряда рек гидрографическая структура водозабора немного изменилась (табл. 1). В отраслевой структуре забора и использования воды главными остаются производство – промышленность и теплоэнергетика (ТЭС), а также коммунальное хозяйство. Водо-

забор на производственные нужды исключительно доминирует (от 78 до 93 %) в Мурманской области и Чукотском АО (развитая горнодобывающая промышленность, крупные предприятия теплоэнергетики, включая Билибинскую АЭС), в бассейнах рек Северная Двина, Печора, Енисей, Пясины (Норильский промышленный узел), Индигирка и Колыма (за счет добывающих предприятий).

Относительная величина забора воды на коммунальные нужды значительна на территориях с отсутствием или незначительным развитием промышленного производства: в бассейне р. Мезени она составляет 63 %, р. Хатанги – 53 %. Сравнительно высока величина забора воды в бассейнах Северной Двины (18–25 %), Оби (16–22 %), Лены (25–27 %), Яны (34 %), Анадыря (41 %), в целом в арктических улусах Якутии (рис. 3). В бассейнах Оби, Енисея и Лены 1, 2 и 7 % соответственно приходится на забор воды на орошение. Для рек Пур и Таз сведения по структуре отраслевого водозабора вызывают некоторые вопросы.



**Рис. 3.** Водопотребители (а), объемы (б) и структура (в) водопотребления в арктических улусах Республики Саха (Якутия) по материалам СКИОВО и ЭКАВ.  
**Fig. 3.** Water consumers (а), volumes (б), and structure (в) of water consumption in the republic of Sakha (Yakutia) Arctic uluses, according to SKIOVO and EKAB materials.

**Таблица 1.** Сведения об объемах и структуре водопотребления на ключевых участках водосборов арктических морей России в 2006–2017 гг. по данным [16, 18] и докладов о состоянии и охране окружающей среды субъектов РФ

Table 1. Data on the water consumption volumes and structure at the Russian Arctic seas catchments' key sections in 2006–2017, according to [16, 18] and reports on the environment status and protection of the Russian Federation constituent members

Территория	Среднемноголетняя величина годового стока <sup>2)</sup> , км <sup>3</sup> /год		Забрано из водных объектов, км <sup>3</sup> /год		Сброшено сточных вод, км <sup>3</sup> /год		Структура сточных вод по степени соответствия фоновым характеристикам <sup>1)</sup> , %			
	в замыкающем створе	в устьевом створе	всего	в т. ч. речных вод	всего	в т. ч. в речную сеть	нормативно чистые	нормативно очищенные	загрязненные	
Мурманская область	–	65,7	1,715	1,526	1,681	1,681	78	1	21	
Бассейн Северной Двины	100	103	0,641	0,596	0,549	0,545	17	3	80	
Бассейн Онеги	15,7	16,1	0,009	0,002	0,008	0,007	–	–	–	
Бассейн Мезени	20,1	27,3	0,001	–	0,0007	0,0007	–	–	–	
Бассейн Печоры	110	147	0,405	0,311	0,331	0,320	71	15	14	
Бассейн Оби (в пределах РФ)	401	411	8,900	–	6,615	6,396	53	10	37	
Бассейн Енисея	590	635	2,765	2,212	2,398	2,350	57	5	38	
Бассейн Пясины <sup>1)</sup>	–	71,2	0,280	–	0,160	–	53	2	45	
Бассейн Лены	543	553	0,309	0,158	0,268	0,222	52	13	35	
Бассейн Индигирки <sup>1)</sup>	51,8	55,4	0,008	–	0,004	–	23	3	74	
Бассейн Колымы	104	124	0,059	0,053	0,036	0,034	60	20	20	
Чукотский АО	–	195	0,026	–	0,020	–	77	1	22	

Примечание: <sup>1)</sup> – за период 2009, 2012–2017 гг., <sup>2)</sup> – за период 1935–2015 гг.

**Таблица 2.** Объемы забора воды и водоотведения на водосборах арктических морей и в Арктической зоне РФ

Table 2. Water withdrawal and water disposal volumes in the catchments of Arctic seas and in Arctic zone of the RF

Море	Водопотребление на водосборах морей			Водопотребление в пределах АЗРФ		
	Водозабор		Сброс, км <sup>3</sup> /год	Водозабор		Сброс, км <sup>3</sup> /год
	всего, км <sup>3</sup> /год	в т. ч. в бассейнах больших рек, %		всего, км <sup>3</sup> /год	в т. ч. в бассейнах больших рек, %	
Баренцево	0,54	75,0	0,43	0,161	2,0	0,100
Белое	2,43	26,8	2,31	1,921	10,9	1,844
Карское	17,9	99,9	12,1	0,457	98,3	0,236
Лаптевых	0,32	99,1	0,28	0,010	78,2	0,009
Восточно-Сибирское	0,07	91,8	0,05	0,012	44,4	0,011
Чукотское	0,001	0	~0	0,001	0	~0
Берингово	0,02	2,2	0,02	0,017	2,2	0,016
<b>Всего</b>	<b>21,28</b>	<b>90,8</b>	<b>15,19</b>	<b>2,58</b>	<b>26,2</b>	<b>2,22</b>

Объемы современного отведения сточных вод в водные объекты и, в частности, в реки (обычно > 90 % общей величины сброса) сопоставимы с объемами их изъятия – 15,19 км<sup>3</sup>/год (в РФ – 56,5 км<sup>3</sup>/год) или 71 % величины суммарного водозабора. Еще меньше разница между водозабором и водоотведением в пределах АЗРФ (табл. 2). Поэтому безвозвратные хозяйственные потери стока здесь, как нигде в стране и мире, невероятно малы. Напротив, с учетом сброса в реки, в т. ч. ранее забранных и использованных подземных и озерных вод, в ряде случаев водопотребление, как следует из табл. 1, должно приводить к увеличению стока. Считается, что загрязненных вод в структуре сточных вод не так много (табл. 1). Однако в действительности [12] система очистки сточных вод гораздо менее эффективна, чем это утверждается.

### ВЫВОДЫ

Арктическая зона Российской Федерации (с островами) занимает ~18 % территории страны. Еще больше (~71%) приходится на водосборы арктических морей. Тем не менее, объемы водопотребления в этих малонаселенных и слабо освоенных регионах, как показали результаты исследования, сравнительно небольшие. И они никак не влияют на водные ресурсы арктических рек и приток речных вод в моря Российской Арктики. Мало того, к настоящему времени водозабор, в сравнении с ситуацией 1980-х годов,

существенно уменьшился, в частности у Печоры, Лены и рек Мурманской области примерно на 30 %, у Северной Двины, Енисея и Колымы – на 50 %. Объемы водозабора выросли в Ненецком и Ямало-Ненецком АО в результате интенсивного развития нефтегазового комплекса.

По результатам проведенного исследования, в настоящее время на водосборах арктических морей Российской Федерации изымается 21,28 км<sup>3</sup>/год, а в пределах АЗРФ – 2,58 км<sup>3</sup>/год или соответственно 28,8 % и 3,5 % общероссийского водозабора. Наибольший вклад вносит водохозяйственный комплекс в бассейне Оби (14,7 км<sup>3</sup>/год: 60,5 % – доля РФ, 19,0 % – Казахстана, 20,5 % – КНР), Енисея (2,77 км<sup>3</sup>/год) и Северной Двины (0,64 км<sup>3</sup>/год), Мурманской обл. (1,72 км<sup>3</sup>/год). Основными водопотребителями выступают промышленность с высокой долей добывающих предприятий, теплоэнергетика и коммунальное хозяйство. Их вклад изменяется по территории АЗРФ и от речного бассейна к бассейну. Многие районы и реки в Арктической зоне Российской Федерации не охвачены водохозяйственной деятельностью. Этот вывод иллюстрирует впервые созданная «Карта антропогенного изъятия природных вод в бассейнах арктических рек и на участках АЗРФ».

Объемы водоотведения в водные объекты на водосборах морей Российской Арктики сопоставимы с объемами изъятия свежей воды – 71 % водозабора. Еще меньше разница в пределах АЗРФ, поэтому безвозвратные антропогенные потери стока здесь, как нигде в стране и мире, невероятно малы. Таким образом, о региональном дефиците водных ресурсов речи не идет. Однако на юге Обь-Иртышского бассейна и в Уральском экономическом районе хозяйственное использование стока характеризуется с 1970–1980-х годов критическими величинами.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Михайлов В.Н., Добролюбов С.А. Гидрология: уч. для вузов. М.; Берлин: DirectMEDIA, 2017. 752 с.
2. Мелиорация и водное хозяйство. Т. 5. Водное хозяйство: справочник / под ред. И.И. Бородавченко. М.: Агропромиздат, 1988. 400 с.
3. Вода России. Речные бассейны / под. ред. А.М. Черняева. Екатеринбург: ФГУП РосНИИВХ, АКВА-ПРЕСС, 2000. 536 с.
4. Водные ресурсы России и их использование / под ред. И.А. Шикломанова. СПб: ГГИ, 2008. 598 с.
5. Магрицкий Д.В. Естественные и антропогенные изменения гидрологического режима низовьев и устьев крупнейших рек Восточной Сибири: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. М., 2001. 22 с.
6. Геоэкологическое состояние арктического побережья России и безопасность природопользования / под ред. Н.И. Алексеевского. М.: ГЕОС, 2007. 585 с.
7. Magritskii D.V. Anthropogenic Impact on the Runoff of Russian Rivers Emptying into the Arctic Ocean // Water Resources. 2008. Vol. 35. Iss. 1. P. 1–14.



8. Российская Арктика в XXI веке: природные условия и риски освоения. Атлас / под ред. Н.И. Алексеевского. М.: Изд-во «Феория», 2013. 144 с.
9. *Магрицкий Д.В.* Факторы и закономерности многолетних изменений стока воды, взвешенных наносов и теплоты Нижней Лены и Вилюя // Вестник Московского ун-та. Сер. 5. География. 2015. № 6. С.85–95.
10. *Магрицкий Д.В.* Климатические обусловленные и антропогенные изменения стока воды основных рек Российской Федерации в их низовьях и морских устьях // Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России: материалы Всероссийской научно-практической конференции. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2018. С. 285–294.
11. *Magritsky D.V., Frolova N.L., Evstigneev V.M., Povalishnikova E.S., Kireeva M.B., Pakhomova O.M.* Long-term changes of river water inflow into the seas of the Russian Arctic sector // *Polarforschung*. No. 87 (2). 2018. P. 177–194.
12. Антропогенные воздействия на водные ресурсы России и сопредельных государств в конце XX столетия / под ред. И.С. Зайцевой, Н.И. Коронкевича. М.: Наука, 2003. 367 с.
13. *Никаноров А.М., Иванов В.В., Брызгалов В.А.* Реки российской Арктики в современных условиях антропогенного воздействия. Ростов-на-Дону: Изд-во «НОК», 2007. 280 с.
14. Национальный атлас Арктики. М.: АО «Картография», 2017. 496 с.
15. ФГБУ «Государственный гидрологический институт» с изданиями ГГИ доступными для скачивания. Режим доступа: [http://www.hydrology.ru/ru/izdaniya\\_ggi\\_New](http://www.hydrology.ru/ru/izdaniya_ggi_New).
16. Водный кадастр РФ. Ресурсы поверхностных и подземных вод, их использование и качество. Л., СПб., М., 1981–2018.
17. Воды России. Состояние, использование, охрана. 1986–2000. Свердловск, Екатеринбург, 1991–2002.
18. Водные ресурсы и водное хозяйство России. Стат. сборн.. М.: НИИ-Природа, 2006–2018.
19. Сайт Амурского БВУ с размещенными СКИОВО рек Чукотского и Берингово морей. Режим доступа: <http://www.amurbvu.ru/deyatelnost/skiovo/>.
20. Сайт Енисейского БВУ с размещенными СКИОВО рек Енисей, Пясины, Нижняя Таймыра, Хатанга, Оленек и Лена. Режим доступа: <http://skiovo.enbv.ru>.
21. Сайт Нижне-Обского БВУ с размещенными СКИОВО рек Обь, Таз, Пур, Надым. Режим доступа: <http://nobwu.ru/index.php/ndvskiovo>.
22. Сайт Двинско-Печорского БВУ с размещенными СКИОВО рек Кольского п-ова и Карелии, Северной Двины, Онеги, Мезени и Печоры. Режим доступа: <http://www.dpbvu.ru/deyatelnost/skiovo-vklyuchaya-ndv>.
23. Сайт МО Булунского улуса (района) с размещенным проектом «Схемы водоснабжения и водоотведения МО Булунский район Республики Саха (Якутия)» от 2014 г. Режим доступа: <https://mr-bulunskij.sakha.gov.ru/files/front/download/id/1168907>.
24. *Демин А.П.* Использование водных ресурсов России: современное состояние и перспективные оценки: автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. М., 2011. 51 с.



25. Раткович Д.Я. Актуальные проблемы водообеспечения. М., 2003. 352 с.
26. Magritsky D., Mikhailov V., Korotaev V., Babich D. Changes in hydrological regime and morphology of river deltas in the Russian Arctic // Proc. of HPI, IAHS-IAPSO-IASPEI Assembly. 2013. IAHS Publ. 358. P. 67–79.
27. Сайт Министерства природных ресурсов и экологии Мурманской области. Режим доступа: <https://mpr.gov-murman.ru>.
28. Шикломанов И.А. Антропогенные изменения водности рек. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 302 с.
29. Вуглинский В.С. Водные ресурсы и водный баланс крупных водохранилищ СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1991. 223 с.
30. Пряхина Г.В. Оценка влияния крупных водохранилищ на сток рек в нижнем бьефе: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. СПб., 2003. 22 с.
31. Стоящева Н.В., Рыбкина И.Д. Водные ресурсы Обь-Иртышского бассейна и их использование // Водные ресурсы. 2014. Т. 41. № 1. С.3–9.
32. Национальный атлас Республики Казахстан. Т. III. Алматы, 2010. 158 с.
33. Козлов Д.В. Проблемы трансграничного использования водных ресурсов в бассейне Иртыша и перспективы гидротехнического строительства в регионе // сб. научн. трудов «Вода для мелиорации, водоснабжения отраслевой экономики и природной среды в условиях изменения климата». 2018. Вып. 11. С. 32–37.

#### Сведения об авторе:

**Магрицкий Дмитрий Владимирович**, канд. геогр. наук, доцент, кафедра гидрологии суши, географический факультет, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Россия, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1; e-mail: [magdima@yandex.ru](mailto:magdima@yandex.ru)

*Для цитирования:* Магрицкий Д.В., *Водопотребление на водосборах арктических рек и в Арктической зоне Российской Федерации: параметры, структура, многолетняя динамика* // *Водное хозяйство России*. 2019. № 3. С. 20-37.

---

### WATER CONSUMPTION ON THE CATCHMENTS OF THE ARCTIC RIVERS AND INTO THE ARCTIC ZONE OF RUSSIA: PARAMETERS, STRUCTURE, AND MANY-YEAR DYNAMICS

**Dmitry V. Magritsky**

E-mail: [magdima@yandex.ru](mailto:magdima@yandex.ru)

*Lomonosov MSU, Moscow, Russia*

**Abstract:** Water consumption into the Arctic zone of Russia and at the catchments of the Arctic seas of Russia is relatively small. In 2006-2017 on the watershed of the Arctic seas an average of 21.3 km<sup>3</sup> of natural waters were being taken annually, and within the Arctic zone of Russia was 2.6 km<sup>3</sup>/year, or, respectively, of 28.8 and 3.5% of the national volume. Whereas these regions occupy about 71% and 18% of the country's area. This is an objective consequence of the very small population and economic development of these territories. The volume of discharge of salvaged waters on the catchments of the Arctic seas is comparable to the volume of water intake and is equal to 15.2 km<sup>3</sup>/year, or 71%. The difference between water withdrawal and discharges of salvaged water within the Arctic

zone of Russia is even less. Therefore, there is no statistically significant impact of water consumption on the water resources of the Arctic rivers, as well as shortage of water resources in the region. In addition, current water consumption is characterized, firstly, by its absence in many territories. Secondly, it is 30-50% less than it was in the 1980s. Thirdly, the water consumption value, on the contrary, has increased in the districts of development of oil and gas production. Fourthly, the water supply of industrial enterprises, heat power and public utilities exclusively dominates in the sectoral structure of water consumption. Fifthly, river waters make up main part of the water use. The study also had several important additional results. The first result is the creation of a unique map illustrating the values and features of spatial changes in water management characteristics in the Arctic zone of Russia. The second is conclusions regarding the reliability and completeness of data of various origin, including from alternative sources of information. The third is the successful implementation of the water management review approach with a transition from a macro-scale level to specific areas, localities and water consumers.

**Key words:** Arctic, river, catchment, water consumption, water intake, wastewater disposal, sewage waters, participants of water-resources use industry, water runoff loss.

**About the author:**

Dmitry V. Magritsky, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University; 119991, Moscow, GSP-1, Leninskie Gory, 1, Moscow State University, Faculty of Geography, Department of Hydrology; e-mail: magdima@yandex.ru.

**For citation:** *Magritsky D.V. Water Consumption on the Catchments of the Arctic Rivers and into the Arctic Zone of Russia: Parameters, Structure, and Many-year Dynamics // Water Sector of Russia. No. 3. P. 20-37.*

## REFERENCES

1. *Mikhaylov V.N., Dobrolyubov S.A. Hidrologiya: uchebnik dlya vuzov* [Hydrology: a textbook for high schools]. Moskva; Berlin: DirectMEDIA, 2017. 752 p. [in Russian]
2. *Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo. Tom 5. Vodnoye khozyaystvo: Spravochnik* [Land improvement and water sector. Vol. 5. Water Management: Handbook] / pod red. I.I. Borodavchenko. M.: Agropromizdat, 1988. 400 p. [in Russian]
3. *Voda Rossii. Rechnye basseyny* [Water of Russia. River Basins] / pod. nauch. red. A.M.Chernyayeva. Ekaterinburg: AKVA-PRESS, 2000. 536 p. [in Russian]
4. *Vodnyye resursy Rossii i ikh ispol'zovaniye* [Water resources of Russia and the usage of them] / pod red. I.A. Shiklomanova. SPb: GGI, 2008. 598 p. [in Russian]
5. *Magrickii D.V. Estestvennye i antropogennye izmeneniya gidrologicheskogo rezhima nizov'ev i ust'ev krupnejshih rek Vostochnoj Sibiri* [Natural and anthropogenic changes in the hydrological regime of the lower reaches and mouths of the largest rivers of Eastern Siberia]; avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk. Moskva, 2001. 22 p. [in Russian]
6. *Geoekologicheskoye sostoyaniye arkticheskogo poberezh'ya Rossii i bezopasnost' prirodopol'zovaniya* [Geoecological condition of the Arctic coast of Russia and safety of nature management] / pod red. N.I. Alekseyevskogo. M.: GEOS, 2007. 585 p. [in Russian]
7. *Magritskii D.V. Anthropogenic Impact on the Runoff of Russian Rivers Emptying into the Arctic Ocean // Water Resources. 2008. Vol. 35. Issue 1. P. 1–14.* [in Russian]
8. *Rossiyskaya Arktika v XXI veke: prirodnyye usloviya i riski osvoyeniya. Atlas* [Russian Arctic in the XXI century: natural conditions and risks of development. Atlas] / pod red. N.I.Alekseyevskogo. M.: Izd-vo «Feoriya», 2013. 144 p. [in Russian]

9. *Magritsky D.V.* Faktory i zakonomernosti mnogoletnikh izmeneniy stoka vody, vzveshenykh nanosov i teploty Nizhney Leny i Vilyuya [Reasons and regularities of long-term changes of runoff of water, suspended sediments and heat on the lower reaches of the Lena and the Vilyuy] // Vestn. Mosk. un-ta. Ser.5. Geografiya. 2015. № 6. P. 85–95. [in Russian]
10. *Magritsky D.V.* Klimaticheskiye obuslovlennyye i antropogennyye izmeneniya stoka vody osnovnykh rek Rossiyskoy Federatsii v ikh nizov'yakh i morskikh ust'yakh [Climate-related and anthropogenic changes in the water runoff of the main rivers of the Russian Federation in their lower reaches and sea estuaries] // Sovremennyye tendentsii i perspektivy razvitiya gidrometeorologii v Rossii: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Irkutsk: Izd-vo IGU, 2018. P.285–294. [in Russian]
11. *Magritsky D.V., Frolova N.L., Evstigneev V.M., Povalishnikova E.S., Kireeva M.B., Pakhomova O.M.* Long-term changes of river water inflow into the seas of the Russian Arctic sector // Polarforschung. No. 87 (2). 2018. Pp. 177–194. [in Russian]
12. Antropogennyye vozdeystviya na vodnyye resursy Rossii i sopredel'nykh gosudarstv v kontse XX stoletiya [Anthropogenic impacts on water resources of Russia and neighboring states at the end of the 20th century] / pod red. I.S. Zaytsevoy, N.I. Koronkevicha. M.: Nauka, 2003. 367 p. [in Russian]
13. *Nikanorov A.M., Ivanov V.V., Bryzgalov V.A.* Reki rossiyskoy Arktiki v sovremennykh usloviyakh antropogennogo vozdeystviya [Rivers of the Russian Arctic in current conditions of anthropogenic impact]. Rostov-na-Donu: Izd-vo «NOK», 2007. 280 p. [in Russian]
14. Natsional'nyy atlas Arktiki [National Atlas of the Arctic]. M.: AO «Kartografiya», 2017. 496 p. [in Russian]
15. [http://www.hydrology.ru/ru/izdaniya\\_ggi\\_New](http://www.hydrology.ru/ru/izdaniya_ggi_New) – stranitsa sayta FGBU «Gosudarstvennyy gidrologicheskiy institut» s izdaniyami GGI dostupnymi dlya skachivaniya [The page of the site of the State Hydrological Institute with the publications available for download] [in Russian]
16. Vodniy kadastr. Resursy poverhnostnykh i podzemnykh vod, ih ispolzovanie i kachestvo. Ezhegodnoe izdanie [The Water cadaster. The surface and ground water resources, the usage and quality of them. The annual edition]. L. - Sankt-Peterburg - M., 1981–2014. [in Russian]
17. Vody Rossii. Sostoyaniye, ispol'zovaniye, okhrana [Waters of Russia. Condition, use, protection]. 1986–2000. Sverdlovsk, Ekaterinburg, 1991–2002. [in Russian]
18. Vodnyye resursy i vodnoye khozyaystvo Rossii. Statisticheskiy sbornik [Water resources and water management of Russia. Statistical digest]. M.: NIA-Priroda, 2006–2018. [in Russian]
19. <http://www.amurbvu.ru/deyatelnost/skiovo/> – stranitsa sayta Amurskogo BVU s razmeshchennymi SKIOVO rek Chukotskogo i Beringovo morey [The website page of the Amur BWU with SKIOVO of rivers of the Chukchi and Bering Seas] [in Russian]
20. <http://skiovo.enbv.ru> – stranitsa sayta Yeniseyskogo BVU s razmeshchennymi SKIOVO rek Yenisey, Pyasina, Nizhnaya Taymyra, Khatanga, Olenek i Lena [The website page of the Yeniseysky BVU with the SKIOVO of the Yenisei, Pyasina, Nizhnaya Taymyr, Khatanga, Olenek and Lena Rivers] [in Russian]
21. <http://nobwu.ru/index.php/ndvskiovo> – stranitsa sayta Nizhne-Ob'skogo BVU s razmeshchennymi SKIOVO rek Ob', Taz, Pur, Nadym [The website page of the Nizhne-Ob'skoy BVU with SKIOVO of the Ob, Taz, Pur, Nadym Rivers] [in Russian]
22. <http://www.dpbvu.ru/deyatelnost/skiovo-vklyuchaya-ndv> – stranitsa sayta Dvinsko-Pechorskogo BVU s razmeshchennymi SKIOVO rek Kol'skogo p-ova i Karelii, Severnoy

- Dviny, Onegi, Mezeni i Pechory [The website page of the Dvinsko-Pechora BVU with the SKIOVO of rivers of the Kola Peninsula and Karelia, the Northern Dvina, Onega, Mezen and Pechora Rivers] [in Russian]
23. <https://mr-bulunskij.sakha.gov.ru/files/front/download/id/1168907> – stranitsa sayta munitsipal'nogo obrazovaniya Bulunskogo ulusa (rayona) s razmeshchennym proyektom «Skhemy vodosnabzheniya i vodootvedeniya MO Bulunskiy rayon Respubliki Sakha (Yakutiya)» ot 2014 [The website page of the municipal formation of the Bulunsky district with the project «Schemes of water supply and sanitation of the municipal district of Bulunsky district of the Sakha Republic (Yakutia)» dated 2014] [in Russian]
  24. *Demin A.P.* Ispolzovanie vodnykh resursov Rossii: sovremennoe sostoyanie i perspektivnyye otsenki [Russia water resources usage: current condition and perspective evaluation]: avtoref. dis. ... dokt. geogr. n. M., 2011. 51 p. V [in Russian]
  25. *Ratkovich D.Ya.* Aktual'nyye problemy vodoobespecheniya [Actual problems of water supply]. M., 2003. 352 p. [in Russian]
  26. *Magritsky D., Mikhailov V., Korotaev V., Babich D.* Changes in hydrological regime and morphology of river deltas in the Russian Arctic // Proc. of HP1, IAHS-IAPSO-IASPEI Assembly. 2013. IAHS Publ. 358. P.67–79. [in Russian]
  27. <https://mpr.gov-murman.ru> – sayt Ministerstva prirodnykh resursov i ekologii Murmanskoy oblasti [Website of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Murmansk region] [in Russian]
  28. *Shiklomanov I.A.* Antropogennyye izmeneniya vodnosti rek [The anthropogenic changes of rivers water content]. L.: Gidrometizdat, 1979. 302 p. [in Russian]
  29. *Vuglinskiy V.S.* Vodnyye resursy i vodniy balans krupnykh vodohranilishch USSR [Water resources and water balance of USSR large reservoirs]. L.: Gidrometizdat, 1991. 223 p. [in Russian]
  30. *Pryakhina G.V.* Otsenka vliyaniya krupnykh vodokhranilishch na stok rek v nizhnem b'yefe [Assessment of the influence of large reservoirs on the river's runoff in the downstream]: avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk. SPb., 2003. 22 p. [in Russian]
  31. *Stoyashcheva N.V., Rybkina I.D.* Vodnyye resursy Ob'-Irtyskogo basseyna i ikh ispol'zovaniye [Water resources of the Ob'-Irtysk basin and their use] / Vodnyye resursy. 2014. Tom 41. № 1. P.3–9. [in Russian]
  32. Natsional'nyy atlas Respubliki Kazakhstan. Tom III [National Atlas of the Republic of Kazakhstan. Vol. III]. Almaty, 2010. 158 p. [in Russian]
  33. *Kozlov D.V.* Problemy transgranichnogo ispol'zovaniya vodnykh resursov v basseyne Irtysha i perspektivy gidrotekhnicheskogo stroitel'stva v regione [Problems of transboundary use of water resources in the Irtysh basin and the prospects for hydraulic engineering in the region] // Sb. nauchn. trudov «Voda dlya melioratsii, vodosnabzheniya otraslevoy ekonomiki i prirodnoy sredy v usloviyakh izmeneniya klimata». 2018. Vyp. 11. P. 32–37 [in Russian].