

**ЭКОНОМИКА***Е.В. Шевнина***ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ ФУНКЦИИ  
ВОДОЗАВИСИМЫХ ОТРАСЛЕЙ ЭКОНОМИКИ  
АРКТИЧЕСКОГО РЕГИОНА РОССИИ***E.V. Shevnina***WATER-LIMITED ECONOMIC BRANCHES INDUSTRIAL  
FUNCTION IN RUSSIAN ARCTIC**

*Представлены сведения об основных объектах промышленного производства и водозависимых отраслях экономики, развитых в Российском секторе Арктики. На основе нормативных документов формализованы их производственные функции. Обоснована необходимость учета долгосрочных изменений гидрологического режима в развитии экономики региона.*

*Ключевые слова: изменение климата и водности, кривые обеспеченности минимального, максимального и годового стока, водообеспеченность отраслей экономики, производственные функции, Российская Арктика.*

*The operation of industries objects and transport infrastructure based on the characteristic of hydrological regime. The probability density functions (PDFs) of annual, maximum and minimum runoffs are used in the most industrial branches.*

*Key words: climate fluctuation, hydraulicity, probability curves of minimum, maximal and annual flow, provision of branches of economy, production functions, Russian Arctic regions.*

**Введение**

В настоящее время в научном сообществе широко обсуждается проблема социально-экономической адаптации к наблюдаемым и прогнозируемым изменениям климата. Существует около двух десятков климатических сценариев, основанных на моделях общей циркуляции атмосферы. Большинство этих сценариев предполагает значительные изменения температуры воздуха и количества осадков в Северном полушарии. Такие вариации основных стокообразующих факторов могут привести к формированию нового гидрологического режима, т.е. с другими статистическими моментами кривых плотности вероятности речного стока.

Использование климатических сценариев позволяет учитывать изменение водообеспеченности различных регионов и различных отраслей экономики, где водные ресурсы являются одним из лимитирующих факторов развития. Эксплуатация существующих и строительство новых промышленных предприятий и транспортных магистралей опирается на сведения об элементах гидрологиче-

ского режима. В отраслях экономики необходимы различные виды водного стока: оценка выработки электроэнергии гидроэлектростанциями базируется на оценках годового и сезонного стока; функционирование нефтеперерабатывающих заводов лимитируется экологическими требованиями, а значит, опирается на минимальный сток; при строительстве железнодорожных и автомобильных мостов необходимы данные о максимальном стоке.

При разработке технико-экономического обоснования строительства и реконструкции объектов промышленного производства используют гидрологические характеристики определенной вероятности появления (обеспеченности), соответствующей уровню надежности сооружения. Чем значительней ущерб от нарушения нормальной работы сооружения/предприятия, тем жестче требования к его надежности и тем выше класс капитальности сооружения и финансовые затраты на строительство и эксплуатацию. Сооружения высокого класса капитальности ориентируются на гидрологические характеристики, вероятности которых равны 1,0 и 0,1 %. Продолжительность эксплуатации таких сооружений достигает 100 лет, и при их строительстве необходимо учитывать долгосрочные сценарии изменения климата и водности.

Разработка механизмов адаптации различных отраслей экономики к изменениям климата и водообеспеченности, планирование необходимых капиталовложений в реконструкцию и строительство объектов производства опирается на использование производственных функций. Они связывают специфические технико-экономические показатели отрасли с лимитирующими ее развитие факторами. В качестве лимитирующего фактора рассматривается минимальный, максимальный и годовой речной сток.

Данная работа посвящена выявлению основных отраслей экономики, развитых в Российском секторе Арктики, и формализации их производственных функций, которая проводится по нормативным документам и отраслевым учебникам.

### **Основные отрасли промышленности арктического региона**

В настоящее время в Арктике добывается и перерабатывается около 80 % природного газа, более 90 % никеля и кобальта, 60 % меди, 96 % платиноидов и 100 % барита. Рыбный промысел составляет около 15 % от общих объемов производимой рыбной продукции в РФ [Данилов, 2007].

Экономическое развитие Арктики определяется наличием значительных запасов полезных ископаемых. Суровые климатические условия затрудняют освоение региона, где плохо развита транспортная инфраструктура: строительство автомобильных и железнодорожных магистралей дорого, а водный транспорт лимитирован короткими сроками навигации. Тем не менее, освоению обширных арктических территорий сейчас уделяется значительное внимание.

Европейская часть арктического региона включает Мурманскую, Архангельскую области и Республику Коми. В этом регионе развиты как добывающие, так и перерабатывающие отрасли промышленности, а наличие развитой

транспортной системы позволяет легко осуществлять перевозки выпускаемой продукции в центральные районы РФ и за рубеж. Приоритетными отраслями промышленности в Европейской части Арктики являются черная и цветная металлургия, деревообрабатывающая, целлюлозно-бумажная и рыбная промышленность, транспорт, гидроэнергетика (табл. 1).

Одним из самых промышленно развитых субъектов является Мурманская область (рис. 1). Здесь располагаются несколько каскадов гидроэлектростанций (Нивский, Туломский, Пазский и Серебрянский), обеспечивающих электроэнергией промышленные предприятия и население. Каскады ГЭС принадлежат филиалу ОАО «МРСК Северо-Запада» «Колэнерго». По данным экспертов Кольского Научного Центра, наличие значительных гидроэнергоресурсов создают благоприятные условия для развития гидроэнергетики в регионе [Минин, 2007]. Запасы медно-никелевых руд обеспечивают производственные мощности комбинатов «Североникель» и «Печенганикель». Основными объектами черной металлургии в области являются Ковдорский и Ловозерский горно-обогатительные комбинаты. Горно-химическая промышленность представлена Апатитским и Кировским горно-химическими комплексами. В Мурманске работают крупные заводы по переработке продукции рыбного промысла баренцевоморского региона.

В северо-восточной части Республики Карелия и Архангельской области расположены комбинаты деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности: «Сегежский ЛДК», «Муезерский ЛПХ», «Кемский лесопильно-деревообрабатывающий завод», «Соломбальский ЦБК», «Котласский ЦБК», «Архангельский ЦБК» и др.

На территории республики Коми находятся значительные месторождения нефти, газа и угля. Основными добывающими и перерабатывающими предприятиями являются компании «Коминетфть» и «Тэбукнефть» (Сосногорское и Усинское месторождения нефти), «Воркутауголь» и «Интинская угольная компания» (Варгашорское и Интинское угольные месторождения).

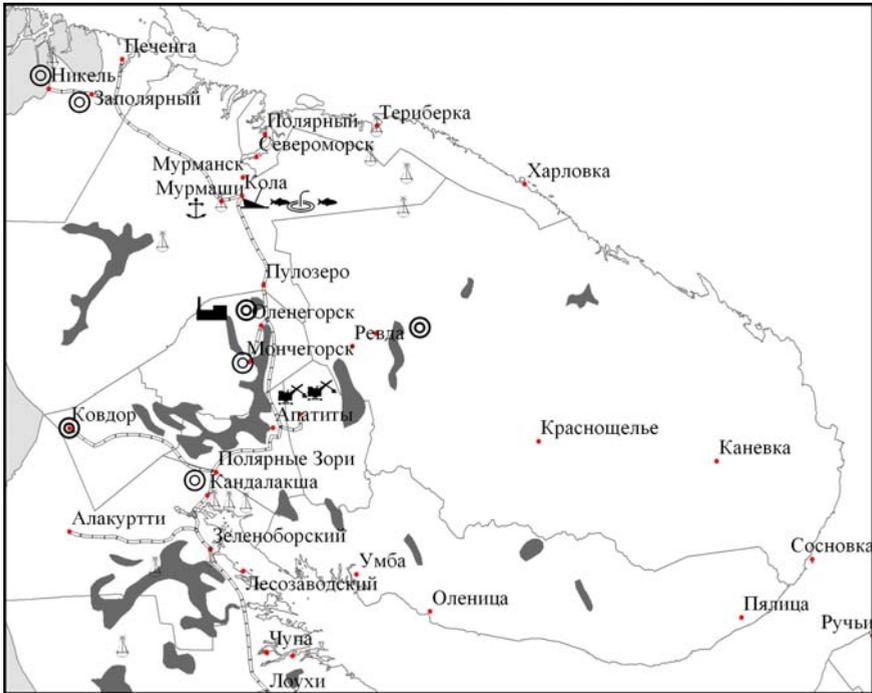
В азиатскую часть Российской Арктики входят территории Ненецкого, Ямало-Ненецкого, Долгано-Ненецкого и Чукотского автономных округов (АО), север Красноярского края и Республики Саха (Якутия) и частично Магаданская область. Здесь развиты отрасли, связанные с добычей природного газа, нефти, угля, драгоценных металлов и алмазов, древесины (табл. 2). Организовать переработку «на месте» зачастую весьма затруднительно: строительство объектов перерабатывающих отраслей требует значительных финансовых затрат, и трудоспособное, квалифицированное население в этих районах малочисленно. Основная часть добываемых ископаемых транспортируется на запад по нефтепроводам, газопроводам, железнодорожными и водными путями. Водный транспорт играет ключевую роль в грузообороте этих труднодоступных районов.

На территории Ненецкого АО располагается Тимано-Печорская нефтегазовая провинция (НГП). В его состав входят крупные высокодебитные нефтяные (Западно-Тэбукское, Пашнинское, Усинское, Возейское, Херьягинское и др.) и газоконденсатные (Вуктыльское) месторождения.

**Основные промышленные предприятия Европейской части Российского сектора Арктики и их источники водоснабжения**

Код* субъекта	Код отрасли	Промышленное предприятие	Водный объект	Владелец предприятия
МУ	АТЕ	Кольская АЭС	оз. Имандра, р. Нива	Филиал ОАО «МРСК Северо-Запада» «Колэнерго»
	НУЕ	Нивский, Туломский, Пазский, Серебрянский, Териберский каскады	р. Нива, р. Тулома, р. Патсо-Йоки, р. Воронья, р. Териберка	Филиал ОАО «МРСК Северо-Запада» «Колэнерго»
	СМТ	Комбинаты: «Североникель», «Печенганикель», Кандалакшский алюминиевый завод	оз. Мончеозеро, оз. Имандра, р. Печенга, р. Нива, Кандалакшский залив	«Кольская горно-металлургическая компания», «Российский алюминий»
	ВМТ	Ловозерский, Ковдорский горно-обогатительные комбинаты	оз. Ловозеро, р. Ковда	ОАО «Севредмет», ОАО «Ковдорский ГОК»
	МСН	Кировский и Апатитский горно-химические комплексы	оз. Имандра, оз. Умбозеро	«Апатит»
	FSH	Рыбоперерабатывающие комбинаты (Мурманск)	р. Кола, р. Роста, Кольский залив	ОАО «Мурманрыбпром», ОАО «Норд-Вест Ф.К.»
АР	MSI	Краснофлотский машиностроительный завод, завод «Полярная звезда», Северодвинский завод дорожных машин	р. Северная Двина, Двинская губа	ОАО «Краснофлотский машиностроительный завод», ГУП «Завод «Полярная звезда»»
	FOR	Лесозавод N3, Карпогорский ЛПХ, Тигрозерский леспромхоз	р. Северная Двина, р. Кулой, р. Ваенга, р. Пинега, р. Моша	ОАО «Лесозавод N3», ОАО «Карпогорский ЛПХ»
	FRS	Соломбальский ЦБК, Котласский ЦБК, Архангельский ЦБК	р. Северная Двина, р. Вычегда	ОАО «Соломбальский ЦБК», ОАО «Котласский ЦБК»
	WTR	Порт Архангельск	р. Северная Двина	ОАО «Северное морское пароходство», ОАО «Северное речное пароходство»
РК	FRS	Лесопильно-деревообрабатывающие комбинаты	р. Вычегда, р. Сысола	ОАО «Сыктывкарский ЛПК», «Сыктывкарская лесопромышленная компания»
	OIL	Усинское и Сосногорское месторождения нефти	р. Уса, р. Колва	ОАО «Коминьфть», ОАО «Тэбукнефть»
	CON	Интинское и Варгашорское угольные месторождения	р. Воркута, р. Инта	ОАО «Воркутауголь», ОАО «Интинская угольная компания»

\* Список сокращений представлен в конце статьи.



Отрасль промышленности  
 ⚓ водный транспорт  
 ⚡ гидроэнергетика  
 ⚙️ горнохимическая  
 🌲 лесная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная  
 🏭 машиностроение  
 ⛛ нефтедобывающая  
 🐟 рыбная  
 🚢 судостроительная  
 Ⓞ цветная металлургия  
 Ⓞ черная металлургия

Проекция Гаусса-Крюгера  
 Масштаб 1:3000000

Рис. 1. Основные отрасли промышленного производства Мурманской области.

На территории Ямало-Ненецкого АО расположена Западно-Сибирская нефтегазоносная провинция, куда входят Уренгойское, Ямбургское, Заполярное, Медвежье, Надымское, Тазовское месторождения газа (рис. 2). Особое значение сейчас приобретают Ямальские газоконденсатные месторождения (Бованенковское, Круzensхтернское, Харасавейское и др.).

Крупнейшие промышленные предприятия Долгано-Ненецкого АО принадлежат концерну «Норильский никель», горнометаллургические комбинаты которого используют медно-никелевые руды Норильского, Талнахского и Октябрьского месторождений. Основной продукцией являются медь, никель, кобальт, платина и другие металлы. Порт Дудинка обеспечивает транспортировку грузов.

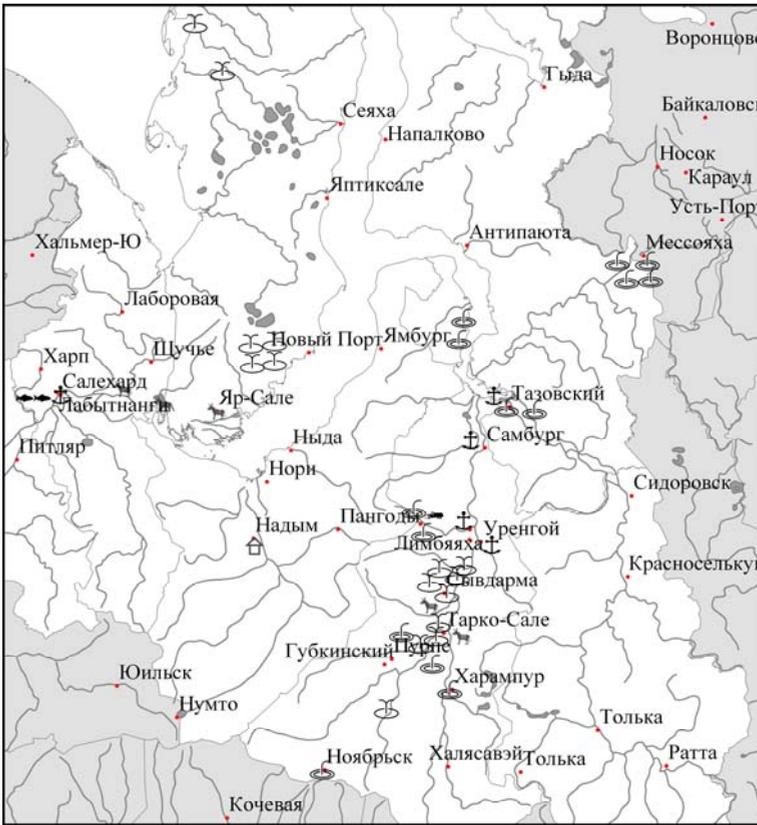
**Основные промышленные предприятия Азиатской части Российского сектора Арктики и их источники водоснабжения**

Код* субъекта	Код отрасли	Промышленное предприятие	Водный объект	Владелец предприятия
1	2	3	4	5
NE	WTR	Порт Амдерма	Тазовская губа	Ненецкий А.О.
	FOR	Лесозаготовительная компания	р. Печора	«Ненецкий лесхоз»
	GAS	Газоконденсационное месторождение	р. Печора	ОАО «Нарьян-Макрогаз»
	FSH	Рыбоперерабатывающий завод	р. Печора	ОАО «Рыбокомбинат Печорский»
YN	GAS	Вынгапурское, Харасавейское, Ямсовейское, Юбилейное, Комсомольское, Бованенковское месторождения	р. Пур, Пурпе, Харампур, Айваседапур, Ямсавей	«Ноябрьскгаздобыча» (ООО «Газпром»), «Надымгазпром», (ООО «Газпром»)
	OIL	Западно-Мессояхское и Восточно-Мессояхское месторождения, Ноябрьское месторождение	р. Мессояха, р. Нянгусьяха	ОАО НГК «Славнефть», ОАО «Сибнефть-Ноябрьскнефтегаз» (НК «Сибнефть»))»
	WTR	Порты Салехард, Тазовский и Уренгой	р. Обь, р. Пур, р. Таз	ОАО «Салехардский речной порт», «Тазовский речной порт»
TA	MDB	Рудники: Комсомольский, Мая, Медвежий ручей, Ангидрид	оз. Пясино, реки Пясино, Норилка, Амбарная, Рыбная	ОАО «Норильский никель»
	CMT	Талнахская, Норильская обогатительные фабрики, Надежинский завод	оз. Пясино, р. Пясино, Норилка, Амбарная	ОАО «Норильский никель»
	WTR	Порт Дудинка, порт Диксон, порт Хатанга	р. Енисей, р. Хатанга	ОАО «Норильский никель»
SA	CON	Месторождения: Согийской, Таймыльское, Куларское, Эликчанское, Тихонское	р. Кунга, Куччугуй-Кюэгюлюр, Уяндина, Индигирка	Холдинговая компания «Якутуголь»
	CMT	Усть-Неринское золотоносное месторождение, Оловянный завод	р. Яна, р. Иргичан	ОАО «Индигирзолото», «Депутатский оловодобывающий комбинат»
	GOL	Месторождения: Удачинское, Айхальское, Эбеляхское	реки Анабар, Малая Куо-манка, Далдын, Марха	ОАО «Алроса»
	WTR	Порты: Тикси, Среднеколымск, Черский, Певек, Чокурдах, Среднеянский	р. Лена, Яна, Колыма, Индигирка	ОАО ЛОРП

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5
СН	АТЕ	Билибинская АЭС	р. Большой Поннеурген	ОАО «РАО Энергетические системы Востока»
	GOL	Рудники Комсомольский и Билибинский	р. Большой Поннеурген	АОЗТ «Руда», АО «Чукотка»
	CON	Углекопское и Нагорное месторождения	р. Волчья, р. Алякватваам	АО «Шахта угольная»

\* Список сокращений представлен в конце статьи.



- Отрасль промышленности
- ⚓ водный транспорт
  - ⚙ гидроэнергетика
  - ⚙ добыча природного газа
  - ⚙ нефтедобывающая
  - 🦌 оленеводство
  - 🏠 промышленность строительных материалов
  - 🐟 рыбная
  - 🚚 транспорт

Проекция стереографическая  
Масштаб 1:7500000

Рис. 2. Основные отрасли промышленного производства Ямало-Ненецкого автономного округа.

На востоке азиатской части Российской Арктики располагаются Тунгусский, Таймырский и Ленский угольные бассейны, которые в своих недрах заключают и энергетические, и коксующиеся угли. Права разработки основных месторождений угля (Согийское, Таймыльское, Куларское, Эликчанское, Тихонское) принадлежат холдинговой компании «Якутуголь». В последнее время большое внимание уделяется перспективной, в плане добычи углеводородов, Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции [Иванов, 2000].

Добыча золота сосредоточена вблизи Усть-Неринского месторождения, разработку которого проводит компания «Индибирзолото». Высококачественные алмазы добываются на Удачинском, Айхальском, Эбеляхском месторождениях, принадлежащих компании «Алроса».

Наземная транспортная сеть развита крайне плохо, поэтому перевозки осуществляются по водным магистралям через порты Тикси, Среднеколымск, Черский, Певек, Чокурдах, Среднеянк.

### **Производственные функции основных отраслей экономики арктического региона**

Водные ресурсы используются в любом промышленном производстве, бесперебойная и экологически безопасная работа предприятий обоснована расчетами с использованием гидрологических характеристик с заданным уровнем вероятности появления. При расчетах регулирования поверхностного стока и водоотвода с горнодобывающих и угольных выработок используют данные о максимальных расходах [СНиП 2.06.14, 1985].

Оценка достаточности водных ресурсов для целей водоснабжения предприятий цветной и черной металлургии, нефтеперерабатывающих и целлюлозно-бумажных комбинатов базируется на данных о минимальном стоке [СНиП 2.04.02, 1984]. Выбор конструктивной схемы водозабора и условия его эксплуатации ограничиваются расчетными максимальными и минимальными уровнями воды и водностью источника [СНиП 2.04.02, 1984; Беликов, 2008]. Экологические требования к предприятиям формулируются исходя из расчетов условий разбавления сточных вод, которые опираются на статистические характеристики годового и минимального стока [СанПиН 4630, 1988].

Технико-экономическое обоснование строительства объектов наземной транспортной инфраструктуры также опирается на расчетные гидрологические характеристики: габариты железнодорожных и автомобильных мостовых переходов и трубопроводов, высота пойменных насыпей и ограждающих сооружений базируется на оценках многолетней изменчивости максимального стока [СНиП 2.05.03, 1984; ГОСТ 26775, 1997]. При определении лимитирующих судосходство уровней воды на водных магистралях необходимы данные о максимальных и минимальных ежедневных уровнях. Строительство портовых сооружений и расчет проектной навигационной глубины ориентируется на наименьшие судосходные уровни, а следовательно, на минимальный сток [СНиП 33-

01-2003, 2004]. Продолжительность навигации определяют сроки замерзания и вскрытия водных объектов. Как показано в работах [Борщ, 2001; Гинзбург, 2005], только повышение температуры воздуха на 2,5–3,0 °С, которое прогнозируется большинством моделей общей циркуляции атмосферы [Solomon, 2007], приведет к увеличению сроков навигации на 8-12 суток. Однако сроки вскрытия и замерзания основных речных портов, расположенных в устьях крупных северных и сибирских рек, зависят не только от климатических факторов, но и от стоковых характеристик этих водных объектов.

Определение гидроэнергетического потенциала рек и строительство гидроэлектростанций опирается на расчеты годового и сезонного стока (в зависимости от вида регулирования, осуществляемого ГЭС) [Арсеньев, 2005]. При расчетах параметров водопропускных сооружений гидроузлов используются данные о максимальных расходах воды [СНиП 03-01-2003, 2004].

Прогнозы численности промысловых рыб и оценки объема допустимого улова опираются на данные о водности [Малкин, 2005]. Так, в работе [Матковский, 2006] отмечено, что среди наиболее значимых факторов воспроизводства сиговых стад в Обском бассейне является водность года. Высокоурожайные поколения муксуна и нельмы появляются при совпадении многоводного года с высокой численностью производителей. Коэффициенты корреляции численности этих видов рыб со среднегодовым уровнем воды составляют 0,58–0,73. Специалисты ГОИН используют данные о стоке р. Печоры в замыкающем створе в качестве предиктора для прогнозирования численности промысловой части лососевых в Печорском регионе [Смирнова, 2007].

Формализованные производственные функции основных отраслей экономики Российского сектора Арктики обобщены в табл. 3 и 4, графические пояснения представлены на рис. 3.

*Таблица 3*

**Производственные функции добывающих и перерабатывающих отраслей промышленности арктического региона**

Отрасль промышленности	Показатель технико-экономического обоснования	Лимитирующие гидрологические характеристики	Соотношение	Источник
1	2	3	4	5
Рыбная	Численность промыслового стада (ЧПС)	Уровень воды, объемы весеннего половодья	$\text{ЧПС} = a_1X_1 + a_2X_2 + \dots + a_nX_n,$ где гидрологическая характеристика является одним из предикторов ( $X$ )	[Малкин, 2005]

1	2	3	4	5
	Расход источника водоснабжения	Минимальные среднесуточные расходы ( $Q_{ис}$ ) обеспеченностью 85, 90 и 95 % (в зависимости от категории водозабора III-I)	$Q_{ис} = Q_{пр} + Q_{гар}$ , где $Q_{пр}$ – расходы воды потребляемой предприятием; $Q_{гар}$ – гарантированные расходы ниже водозабора предприятия	[СНиП 2.04.02, 1984]
Черная и цветная металлургия, дерево-, нефте-, газоперерабатывающие отрасли	Гарантированный расход воды ниже водозабора ( $Q_{гар}$ )	$Q_{мин}$ – минимальный среднесуточный расход 95% обеспеченности	$Q_{гар} \leq Q_{мин}$	[СанПиН 4630, 1988]
	Глубина водозаборного колодца ( $H_{вод}$ ) (рис. 2, а)	Максимальные ( $H_{макс}$ ) и минимальные ( $H_{мин}$ ) уровни воды обеспеченностью 1, 3, 5 % и 90, 95, 97 % (в зависимости от категории водозабора I-III)	$H_{мин} < H_{вод} < H_{макс}$	[СНиП 2.04.02, 1984]
Горно-, нефте-, газодобывающие отрасли	Размеры отводных каналов ( $D_k$ )	Максимальный паводковый расход 5% обеспеченности ( $Q_n$ )	$D_k = f(Q_n)$	[СНиП 2.06.14, 1985]

Таблица 4

**Производственные функции гидроэнергетического и транспортного комплексов арктического региона**

Отрасль промышленности	Показатель технико-экономического обоснования	Лимитирующие гидрологические характеристики	Соотношение	Источник
Гидроэнергетика	Габаритные размеры водопропускных сооружений ( $L_h$ )	Максимальные расходы воды ( $Q_{макс}$ ) обеспеченностью 0,1, 1, 3, 5 % (для основного случая) и 0,01, 0,1, 0,5, 1% (для поверочного случая)	$L_h < Q_{макс}$	[СНиП 33-01-2003, 2004]
	Объем водохранилища многолетнего	Норма, коэффициенты вариации и асимметрии	$W = f(N, C_v, C_s)$	[Арсеньев, 2005]
	Потенциальные гидроэнергоресурсы ( $N_{гэ}$ )	Норма годового стока ( $N$ )	$N_{гэ} = 85900NH$ , где $H$ – отметка уровня воды в верхнем бьефе	[Арсеньев, 2005]

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5
Транспорт	Минимальная судовойная глубина ( $h_c^{\text{мин}}$ )	Минимальный уровень воды ( $H_{\text{мин}}$ ), обеспеченностью 95, 97, 99 % (в зависимости от категории пути)	$h_c^{\text{мин}} = H_{\text{мин}} - H_{\text{дн}} - S'$ , где $S'$ – суммарные поправки на волнение, осадку судна и пр.	[Михайлов, 2004]
	Максимальная судовойная глубина $h_c^{\text{макс}}$	Максимальный уровень воды ( $H_{\text{макс}}$ ), обеспеченностью 1, 3, 5 %	$h_c^{\text{макс}} = H_{\text{макс}}$	[Михайлов, 2004]
	Габариты надводного сооружения ( $h_{\text{габ}}^{\text{гор}}$ , $h_{\text{габ}}^{\text{верт}}$ ) (рис. 2, б)	Максимальные и минимальные уровни воды, обеспеченностью 1, 3, 5 и 95, 97, 99 %	$h_{\text{габ}}^{\text{гор}} = H_{\text{макс}} + H'$ , где $H'$ – регламентируемая высота превышения габарита, $h_{\text{габ}}^{\text{верт}} = f(H_{\text{мин}})$	[ГОСТ 26775, 1997; Михайлов, 2004]
	Продолжительность навигационного периода $T$	Сроки замерзания и вскрытия $D_з, D_в$	$T = D_з - D_в$ , где $D_з, D_в$ зависят от водности объекта	[Михайлов, 2004]

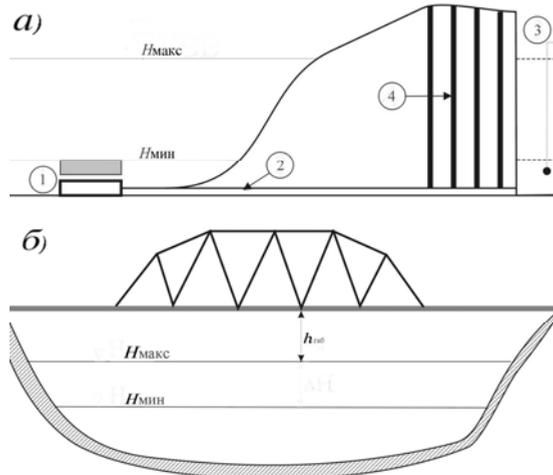


Рис. 3. Определение глубины головки водозабора предприятия (а) и высоты мостового сооружения (б) [Михайлов, 2004]. а: 1 – водоприемный фильтрующий оголовок; 2 – самотечный трубопровод; 3 – береговой водоприемный колодец; 4 – шпунтовое ограждение; б:  $H_{\text{мин}}$  и  $H_{\text{макс}}$  – минимальный и максимальный уровень воды заданной обеспеченности;  $h_{\text{габ}}$  – высота надводного габарита.

**Чувствительность отраслей экономики  
к долгосрочным изменениям гидрологического режима в Арктике**

В производственных функциях большинства отраслей экономики используются кривые плотности вероятности (обеспеченности) годового, минимального и максимального видов стока. Наиболее востребованными являются обеспеченные годовые расходы воды, минимальные и максимальные расходы и уровни воды. В настоящее время решению задачи научно обоснованного получения расчетных обеспеченных характеристик стока уделяется большое внимание [Рождественский, 2002; Лобанов, 2007].

Расчеты гидрологических характеристик нормирует СП 33.101-2003 [СП 33.101-2003, 2004]. В документе регламентируются основные процедуры анализа гидрологических рядов на однородность и стационарность, приводятся рекомендации по приведению рядов гидрологических наблюдений к необходимой продолжительности, а также дается руководство по построению кривых обеспеченности и определению расчетных обеспеченных величин стока.

Однако в основе данного СП лежит гипотеза о стационарности гидрологического режима, что фактически означает неизменность параметров кривых обеспеченности (плотности вероятности) основных видов водного стока на протяжении всего периода эксплуатации сооружения. Его надежность определяется, в том числе, статистическими характеристиками стока, которые используются в инженерных расчетах параметров сооружений [ГОСТ 27.002, 1989; СНиП 33-101-2003, 2003; Векслер, 2004; Болгов, 2006; Мирцхулава, 2006]. Игнорирование последствий климатических изменений в части их влияния на статистические моменты распределения основных видов стока (рис. 4, а, б) приведет к тому, что спроектированные объекты не будут отвечать заданному уровню надежности [Финагенов, 2007].

Климатические изменения, наблюдаемые в настоящее время [Solomon, 2007], вызывают изменения водности, которые проявляются как в виде трендов, так и в виде увеличения частоты появления экстремальных гидрологических явлений. Методы стохастического моделирования с использованием современных климатических сценариев позволяют получить долгосрочные прогнозы параметров кривых плотности вероятности основных видов водного стока (рис. 3). Методика прогнозирования параметров кривых обеспеченностей основана на использовании уравнения Фоккера-Планка-Колмогорова (ФПК). Это уравнение уже применялось для оценки вариации статистических характеристик годового, минимального и максимального видов стока с учетом ожидаемых изменений климата [Викторова, 2002; Громова, 2007; Коваленко, 2006]. Однако в этих работах не учитывалась специфика формирования стока арктического региона, где ожидается значительные изменения свойств подстилающей поверхности из-за деградации зоны многолетнемерзлых пород [Анисимов, 1999].

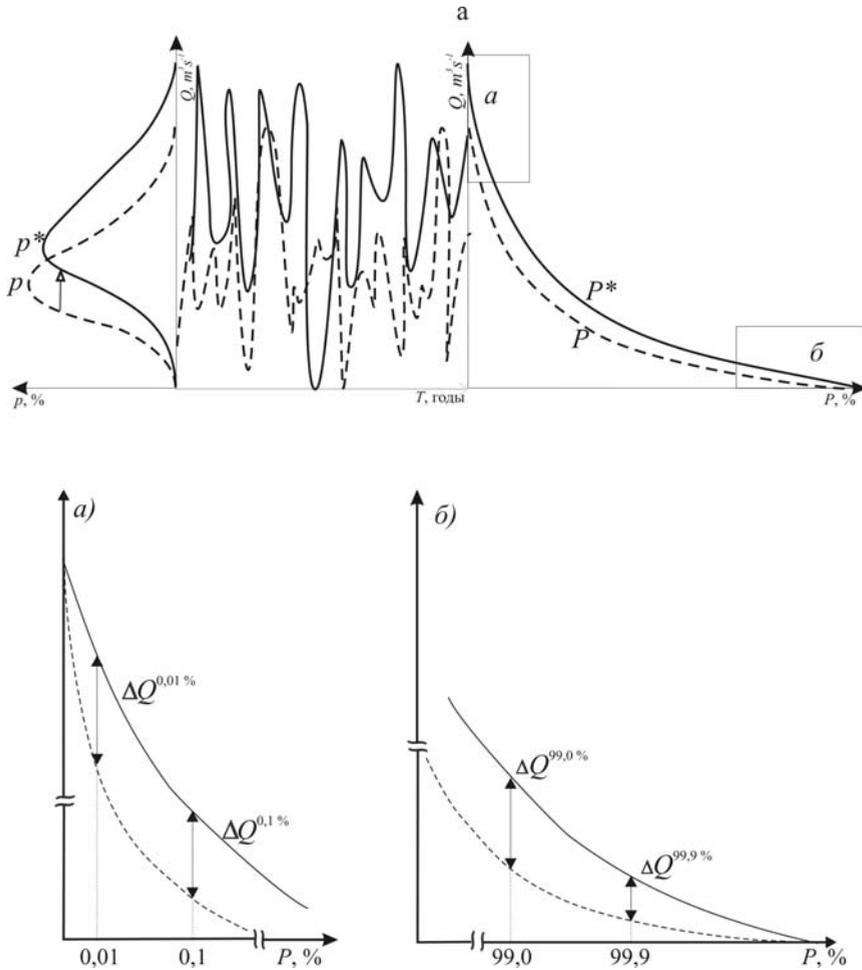


Рис. 4. Изменения прогнозной кривой обеспеченности стока ( $P^*$ ) относительно существующей ( $P$ ) (вверху) и значений обеспеченных гидрологических величин (внизу), использующихся в производственных функциях основных отраслей экономики ( $a$ ,  $b$ ).

### Заключение

Интерес к долгосрочным прогнозам климата остается значительным в последние десятилетия. Наблюдаемые вариации температуры воздуха и количества осадков значительно влияют на гидрологический режим [Solomon, 2007]. Для характеристики гидрологического режима, в рамках гипотезы о его стационарности, достаточно описать первые три статистических момента распределения плотности вероятности годового, минимального и максимального видов стока. Долгосрочное прогнозирование гидрологического режима позволяет получить его изменение в виде отклонений экстремальных обеспеченностей от существующих значений [Коваленко, 2006; Викторова, 2002].

Картирование величины этих отклонений позволит выявить зоны изменений статистических характеристик стока, отрасли промышленного производства и отдельные предприятия, обеспеченность которых значительно пострадать.

Исследования долгосрочных изменений водности пока не получили столь широкого масштаба, как, например, исследования климатических вариаций. Одной из причин этого является недопонимание последствий таких изменений для экономической системы в условиях, когда «стереотип мышления, связанный с рыночной экономикой, оценивает развитие отрасли или отдельного предприятия не более чем на 10–15 лет вперед. Этот «горизонт анализа» обусловлен использованием рыночных оценок, связанных жестко со структурой экономики, которая в ходе развития меняется все быстрее: период в два десятилетия уже достаточен для существенных структурных изменений» [Данилов-Данилян, 2005].

В то же время стратегическое планирование развития отраслей и строительство промышленных предприятий подразумевает более долгосрочное планирование. В этом контексте долгосрочное прогнозирование статистических характеристик основных видов стока с учетом изменений климата и хозяйственной деятельности приобретает особое значение.

Список сокращений в табл. 1 и 2.

Субъект РФ	Код субъекта
Мурманская область	MU
Республика Карелия (северо-восточная часть)	RK-NW
Архангельская область	AR
Республика Коми	RK
Ненецкий АО	NE
Ямало-Ненецкий АО	YN
Таймырский (Долгано-Ненецкий) АО	TA
Республика Саха (Якутия)	SA
Чукотский АО	CH

Отрасль промышленности	Код отрасли
Атомная энергетика	ATE
Гидроэнергетика	HYE
Цветная металлургия	CMT
Черная металлургия	BMT
Горно-химическая	MCH
Рыбная	FSH
Лесная, деревообрабатывающая и целлюлозно-бумажная	FRS
Машиностроение	MSI
Лесозаготовительная	FOR
Водный транспорт	WTR

Нефтедобывающая	OIL
Горнодобывающая	MDB
Угольная	CON
Добыча природного газа	GAS
Добыча драгоценных металлов и алмазов	GOL
Водный транспорт	WTR

### Литература

1. *Арсеньев Г.С.* Основы управления гидрологическими процессами: водные ресурсы. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2005. – 230 с.
2. *Анисимов А.О., Нельсон Ф.Э., Павлов А.В.* Прогнозные сценарии эволюции криолитозоны при глобальных изменениях климата в XXI веке // Криосфера Земли, 1999, № 4, с. 25–31.
3. *Беликов В.Е., Католикова Н.И.* Водный режим как фактор руслоформирования (на примере рек Сахалина) // Метеорология и гидрология, 2008, № 1, с. 90–97.
4. *Болгов М.В., Сенцова Н.И.* Инженерно-гидрологическое обоснование надежности систем технического водоснабжения АЭС // Гидротехническое строительство, 2006, № 6, с. 2–8.
5. *Борщ С.В., Гинзбург Б.М., Солдатова И.И.* Применение моделей формирования ледовых явлений на реках для оценки вероятного изменения ледового режима при различных сценариях будущего климата // Водные ресурсы, 2001, т. 28, № 2, с. 217–223.
6. *Викторова Н.В.* Исследование применимости стохастической модели формирования летне-осеннего и зимнего минимального стока для оценки для оценки гидрологических последствий антропогенного изменения климата. Автореф. дисс. на соискание учен. степени канд. техн. наук. – СПб.: РГГМУ, 2002. – 19 с.
7. *Векслер А.Б., Стефанишин Д.В.* К вопросу о назначении вероятностей превышения расчетных расходов воды в зависимости от длительности временной эксплуатации гидротехнических сооружений и их класса // Гидротехническое строительство, 2004, № 6, с. 8–12.
8. *Гинзбург Б.М.* Сроки замерзания и вскрытия рек в конце XX века и возможные их изменения в XXI веке // Метеорология и гидрология, 2005, № 12, с. 88–97.
9. ГОСТ 26775 Габариты подмостовых судоводных пролетов мостов на внутренних водных путях. Госстрой России. 1997.
10. ГОСТ 27.002-89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1990.
11. *Громова М.Н., Викторова Н.В.* Прогноз характеристик минимального стока для целей управления водными ресурсами // Научно-технические ведомости СПбГПУ, 2007, № 2 (50), с. 284–287.
12. *Данилов А.И., Алексеев Г.В., Дмитриев В.Г., Клепиков А.В., Моргунов Б.А., Петров В.С.* Изменения климата и устойчивое развитие Арктики // Труды ААНИИ, 2007, т. 447, с. 241–258.
13. *Данилов-Данилян В.И., Лосев К.С., Рейф И.Е.* Перед главным вызовом цивилизации. Взгляд из России. Инфра-М, 2005. – 24 с.
14. *Иванов Ю.А., Мясникова И.П.* Новые аспекты перспектив нефтегазоносности северных районов Сибирской платформы // Геология нефти и газа, 2000, № 3, с. 16–20.
15. *Коваленко В.В., Викторова Н.В., Гайдюкова Е.В.* Моделирование гидрологических процессов. – СПб.: Изд-во РГГМУ, 2006. – 559 с.
16. *Лобанов В.А., Беликов В.Е.* Определение расчетных гидрологических характеристик с учетом исторических максимумов // Метеорология и гидрология, 2007, № 2, с. 89–99.
17. *Малкин Е.М.* О концепции ОДУ как средстве управления промыслом // Рыбное хозяйство, 2005, № 5, с. 46–47.
18. *Матковский А.К.* Определение объемов искусственного воспроизводства ценных видов рыб на примере популяций Обского бассейна // Рыбное хозяйство, 2006, № 5, с. 75–77.

19. Минин В.А., Дмитриев Г.С. Перспективы освоения нетрадиционных и возобновляемых источников энергии на Кольском полуострове. – Мурманск: Изд-во Белтона, 2007. – 94 с.
20. Мирцхулава Ц.Е. Возможные подходы для принятия решений о продолжении эксплуатаций гидротехнических сооружений в условиях риска // Гидротехническое строительство, 2006, № 2, с. 36–44.
21. Михайлов А.В. Внутренние водные пути. – М: АСВ, 2004. – 448 с.
22. Рождественский А.В., Лобанов В.А., Бузин В.А., Владимиров А.М. Методология расчетов экстремальных значений гидрологических характеристик // Метеорология и гидрология, 2002, № 9, с. 62–70.
23. СНиП 2.06.01-86 Гидротехнические сооружения. Основные положения. Госстрой СССР. 1986.
24. СНиП 2.06.14-85 Защита горных выработок от подземных и поверхностных вод. Госстрой СССР. 1985.
25. СНиП 2.04.02-84 Водоснабжение. Наружные сети и сооружения. Госстрой СССР. 1984.
26. СанПиН 4630 Санитарные правила и нормы охраны поверхностных вод от загрязнения. Госстрой СССР. 1988.
27. СНиП 2.05.03-84 Мосты и трубы. Госстрой СССР. 1984.
28. СНиП 33-01-2003 Гидротехнические сооружения. Основные положения. Госстрой России. 2004.
29. СП 33-101-2003 Определение основных расчетных гидрологических характеристик. ПНИИС. 2004.
30. Смирнова А.И., Арсеньчук М.О., Яковлева Н.П., Антонова В.П., Антонов Л.Г. Учет климатических и региональных гидрометеорологических режимообразующих факторов при составлении прогнозов численности лососевых рыб // Труды ГОИН, 2007, вып. 210, с. 300-317.
31. Финагенов О.М., Беликов С.Н. Оценка эксплуатационной надежности гидротехнических сооружений // Гидротехническое строительство, 2007, № 9, с. 24-27.
32. Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M. and Miller H.L. Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007. – 996 p.