

### **МОДЕЛЬ КРИВЫХ ИСТОЩЕНИЯ ЗИМНЕГО СТОКА РЕК СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ<sup>1</sup>**

*М.В. Ушаков\**

\*Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило  
Дальневосточного отделения РАН (г. Магадан)

Северо-Восток России – регион, водообеспеченный по показателям среднегодового стока, но ежегодно в зимний период он превращается в вододефицитный. Для выработки мер по снижению действия этого негативного гидроэкологического фактора необходимо изучить закономерности изменения речного стока в зимнюю межень. Цель работы – получить математическую модель кривых истощения стока для непромерзающих рек Северо-Востока России в зимнюю межень и применить ее для предвычисления ежедневных расходов воды. На основе анализа гидрографов зимнего стока непромерзающих рек Северо-Востока России выявлены различия в характере истощения стока по обе стороны Главного водораздела Земли, обусловленные климатическими условиями. Кривые истощения зимнего стока хорошо описываются экспоненциальной функцией. Коэффициент истощения стока связан с тепловым стоком реки, косвенно характеризующим режим поступления тепла и влаги на водосбор. Для неизученных рек предложен индекс теплообеспеченности бассейна, представляющий собой произведение нормы слоя годового стока и среднегодовой температуры воздуха по Цельсию, увеличенной на 20 °С. Полученная математическая модель позволяет предвычислять ежедневные расходы воды на полгода вперед (середина октября – середина апреля) не только на работающих гидрологических постах, но и на неизученных реках. Для этого необходимо измерить расход воды в середине октября или же определить его по модулю расхода ближайшей реки-аналога. Верификация модели проводилась по данным двух гидрологических постов, которые не использовались при разработке расчетной схемы, т. е. на независимом материале. Точность расчета средне-годовых кривых зимнего стока 11,4–14,7 %, а кривых конкретных лет – 3,3–16,7 %.

**Ключевые слова:** гидрограф, расход воды, зимняя межень, водосбор, тепловой сток, температура воздуха, истощение стока.

---

<sup>1</sup>Автор выражает благодарность доктору геолого-минералогических наук В.Е. Глотову за высказанные ценные замечания при ознакомлении с рукописью данной статьи. Работа выполнена при поддержке гранта ДВО РАН № 12-III-A-09-196.

**Контактное лицо:** Ушаков Михаил Вилорьевич, адрес: 685000, г. Магадан, ул. Портовая, д. 16; e-mail: mvilorich@narod.ru

**Для цитирования:** Ушаков М.В. Модель кривых истощения зимнего стока рек Северо-Востока России // Вестн. Сев. (Арктич.) федер. ун-та. Сер.: Естеств. науки. 2016. № 3. С. 5–14. doi: 10.17238/issn2227-6572.2016.3.5

Для обоснованного планирования хозяйственного использования поверхностных вод полезны знания закономерностей истощения зимнего речного стока, особенно это важно для рек с продолжительной зимой, как на Северо-Востоке России.

Под Северо-Востоком России понимается территория бассейна р. Колымы, Чукотки, бассейны рек Магаданской области, впадающих в Охотское море. Эту территорию пересекает Главный водораздел Земли (ГВЗ), разграничивающий бассейны тихоокеанского (бассейны рек, впадающих в Тихий и Индийский океаны) и атлантического (бассейны рек, впадающих в Атлантический и Северный Ледовитый океаны) склонов (рис. 1). В геологическом отношении регион неоднороден. Здесь распространены структуры Охотско-Чукотского вулканогенного пояса, Кони-Таню-

ерской складчатой системы и Корякско-Камчатской складчатой области, Яно-Колымской складчатой зоны, Колымского и Омолонского срединных массивов, соответствующие континентальным корам дорифейского и поздне-мезозойского возрастов [1].

Широтная зональность на востоке и юге региона искажена тепляющим влиянием Тихого океана [2]. Распространенность многолетнемерзлых пород на Охотском побережье носит прерывистый характер, на остальной же части Северо-Востока – повсеместный, лишь в долинах рек имеются сквозные гидрогенные и гидрогеогенные талики [3, 4]. В бассейне р. Колымы и на Охотском побережье лесной ландшафт на горных хребтах и нагорьях сменяется тундрой. Чукотка в основном покрыта тундрой и лесотундрой, на севере встречаются арктические каменистые пустыни.



Рис. 1. Схема расположения гидрологических постов на Северо-Востоке России (названия постов см. в табл. 1)

Внутригодовое распределение стока рек отличается значительной неравномерностью. В теплую часть года (май–октябрь) протекает основная масса воды (94–99 %), в зимние месяцы сток незначителен или вовсе отсутствует [5]. Гидрографы половодья зачастую характеризуются пилообразной формой. Волна половодья нередко сливается с последующими дождевыми паводками, которые проходят в период с середины июня по сентябрь. Как правило, в среднем за год наблюдается от 1-2 до 3-5 паводков.

Наименьшие расходы воды за период открытого русла могут наблюдаться в любой летний месяц, преимущественно во второй половине лета и перед появлением на реке осенних ледовых явлений. Зимняя межень наблюдается со второй половины октября до начала мая. В этот период, когда отсутствует поступление атмосферных вод, вод таяния ледников, снежников, наледей и гольцового льда, поверхностный сток в реках обеспечивается притоком подземных надмерзлотных вод, а в отдельных случаях и подмерзлотных [3]. Таким образом гидрограф речного стока в зимнюю межень отражает гидрогеологические особенности водосбора [6, 7].

Рассматриваемый регион является водообеспеченным по показателям среднегодового стока (например, водообеспеченность Магаданской области  $301 \text{ м}^3/\text{год}$  на  $1 \text{ км}^2$ , что в 1,14 раза больше, чем средняя по России [8]), но ежегодно в зимний период он превращается в вододефицитный, т. к. речной сток сильно истощается, а многие реки даже промерзают до дна. Поэтому закономерности истощения зимнего стока рек на Северо-Востоке России требуют изучения.

Цель данной работы – получить математическую модель кривых истощения стока для непромерзающих рек Северо-Востока России

в зимнюю межень и применить ее для предвычисления ежедневных расходов воды. В связи с этим необходимо решить следующие задачи: подобрать функцию, аппроксимирующую кривые истощения зимнего стока; установить связи параметров этой функции с гидрометеорологическими факторами; проверить адекватность математической модели на независимом материале, т. е. на данных, которые не использовали при выводе расчетных формул.

Результаты, обобщающие первые исследования по режиму истощения зимнего стока рек Северо-Востока России, опубликованы в [5], где приведены гидрографы зимнего стока рек Колыма, Тенке, Среднекан для зим 1950–1951, 1956–1957 годов и их описание. Установлено, что в первые два месяца зимней межени сток сокращается на 70–80 %, а на малых реках даже на 100 %, наименьшие расходы воды на непромерзающих реках наблюдаются преимущественно в апреле. В работах [9, 10] сделаны первые попытки аналитической аппроксимации кривых истощения стока рек бассейна р. Колымы, аналогичные исследования были проведены для рек Северного Приохотоморья [11], рек Малый Анжуй, Анадырь (Чукотка) [12].

**Материалы и методы.** При разработке математической модели использовались данные наблюдений за речным стоком, температурой воды с 12 гидрологических постов, которые взяты в официальных справочных изданиях Росгидромета<sup>2</sup> и отделе гидрологии Колымского управления по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды (*табл. 1*, см. с. 8; *рис. 1*). Гидрологические работы на данных постах в 1985–2002 годах выполнялись под методическим руководством автора. Длина рядов стока 16–47 лет (точнее будет сказать, зим), что достаточно для решения поставленных задач.

---

<sup>2</sup>Государственный водный кадастр. Основные гидрологические характеристики. Т. 19. Л., 1978. 227 с; Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. I. Вып. 17. Л., 1985. 429 с.

**ДАННЫЕ ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПОСТОВ,  
ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ПРИ РАЗРАБОТКЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ**

№ п/п	Река – пункт	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Параметры уравнения (1)		$M_H$ , ТДж/км <sup>2</sup>
			$a$	$b$	
Реки атлантического склона					
1	р. Колыма – п. Усть-Среднекан	99 400	0,975	1,348	8,71
2	р. Кулу – с. Кулу	10 300	0,959	1,327	8,85
3	р. Сугой – в 3,2 км ниже устья р. Омчикчан	5 880	0,924	1,289	8,10
4	р. Ясачная – с. Нелемное	32 000	0,659	0,906	10,10
5	р. Олой – гм. ст. Уточан	15 700	0,809	1,124	10,00
6	р. Малый Аной – с. Островное	30 000	1,3425	1,869	6,15
7	р. Большой Аной – гм. ст. Константиновская	49 600	1,124	1,560	7,60
	Среднее по склону	–	0,970	1,350	8,50
Реки тихоокеанского склона					
8	р. Анадырь – с. Снежное	106 000	0,816	1,129	11,70
9	р. Анадырь – п. Новый Еропол	47 300	0,716	0,985	9,01
10	р. Тауй – с. Талон	25 100	0,602	0,825	13,60
11	р. Гижига – в 20 км от устья	11 700	0,680	0,924	11,50
12	р. Энмываам – гм. ст. Энмувеем	11 400	0,723	0,981	8,44
	Среднее по склону	–	0,710	0,970	10,85

Примечание:  $M_H$  – норма модуля теплового стока за май–октябрь.

Климатические данные о температуре воздуха и атмосферных осадках взяты из справочника по климату<sup>3</sup> и на сайте Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации<sup>4</sup>.

По среднемноголетним месячным расходам воды было построено 12 кривых истощения речного стока в зимний период (середина октября – середина апреля) для атлантического и тихоокеанского склонов. Эти кривые хорошо описываются экспоненциальной функцией

$$Q_i/Q_{15} = \exp(b - a(\lg i)^2), \quad (1)$$

где  $Q_i$  – расход воды в  $i$ -й день;  $Q_{15}$  – расход воды на 15 октября;  $i$  – номер дня от 1 октября.

Параметры  $a$ ,  $b$  в табл. 1 определялись методом наименьших квадратов путем подбора аппроксимирующей функции с использованием компьютерного редактора Microsoft Excel. Параметр  $b$  функционально связан с коэффициентом  $a$ . Поиск приемлемой связи коэффициента  $a$  с гидрометеорологическими фактора-

<sup>3</sup>Научно-прикладной справочник по климату СССР. Сер. 3. Многолетние данные. Ч. 1–6. Вып. 33. Магаданская область, Чукотский автономный округ. Л., 1990. 566 с.

<sup>4</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных. URL: <http://meteo.ru/data/> (дата обращения: 10.03.2015).

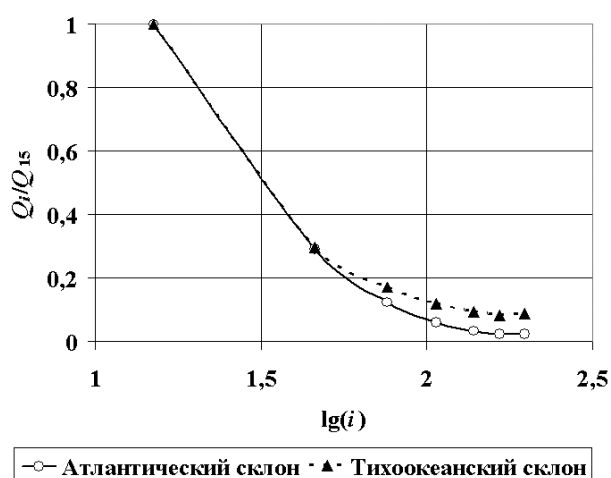


Рис. 2. Среднегодовое истощение зимнего стока рек Северо-Востока России:  $Q_i$  – расход воды в  $i$ -й день,  $m^3/c$ ;  $Q_{15}$  – расход воды на 15 октября;  $i$  – номер дня от 1 октября

ми производился при помощи регрессионного анализа.

Осредненные кривые истощения стока по склонам ГВЗ представлены на рис. 2.

Верификация предлагаемой модели проводилась по данным двух гидрологических постов: р. Бохапча – в 5,4 км от устья, р. Уптар – п. Уптар (данные этих постов не использовались при разработке расчетной схемы).

**Результаты и обсуждение.** Сопоставление пар рек по разные стороны ГВЗ с примерно одинаковыми водосборными площадями, гео-криологическими и геологическими условиями показывает, что истощение стока на реках тихоокеанского склона происходит менее интенсивно, чем на реках атлантического, это видно и по осредненным коэффициентам  $a$  уравнения (1) по склонам. На тихоокеанском склоне выпадает больше атмосферных осадков, чем на атлантическом, кроме того, там и зимы мягче (табл. 2). Такой климат способствует тому, что глубина промерзания на площадях таликов в бассейнах рек Охотского и Берингова морей меньше, а на участках с многолетнемерзлыми породами и сезонно-талый слой толще, чем в бассейне р. Колымы. Поэтому можно уверенно говорить, что различия в закономерностях истощения стока на разных океанических склонах связаны с проявлениями климатических отличий, определяющих режим поступления подземных вод зоны свободного водообмена в реки.

Параметр  $a$  в формуле (1) назовем коэффициентом истощения стока, который характеризует интенсивность спада гидрографа зимнего стока, следовательно, и режим поступления подземных вод в реки. Режим подземного стока связан с гидрогеологическими и геокриологическими условиями, а они, в свою очередь, в значительной степени зависят от гидромете-

Таблица 2

КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ НА РАЗНЫХ СКЛОНАХ ГВЗ

Характеристика	Метеостанция			
	Атлантический склон		Тихоокеанский склон	
	Кулу (62° с.ш., 148° в.д.)	Островное (68° с.ш., 164° в.д.)	Гижига (62° с.ш., 160° в.д.)	Мухоморное (66° с.ш., 170° в.д.)
Средняя годовая температура воздуха, °С	-11,5	-11,8	-5,2	-8,8
Средняя температура воздуха за октябрь–апрель, °С	-25,9	-25,4	-14,4	-20,4
Сумма осадков за октябрь–апрель, мм	104	97	152	143

орологических факторов. В качестве гидрометеорологического фактора может выступить тепловой сток рек за теплую половину года (май–октябрь), отражающий режим поступления влаги и тепла на водосбор.

Тепловой сток рек за май–октябрь рассчитывался по формуле [13]

$$H = 1000cWt, \quad (2)$$

где  $c$  – удельная теплоемкость воды,  $c = 4188$  Дж/(кг·К);  $W$  – объем стока за май–октябрь, м<sup>3</sup>;  $t$  – средняя температура воды за период, °С.

Затем для каждого створа был рассчитан модуль теплового стока за май–октябрь (см. табл. 1)

$$M_H = H/A, \quad (3)$$

где  $A$  – площадь водосбора, км<sup>2</sup>.

Коэффициент истощения стока связан с модулем теплового стока следующим образом:

$$a = 7,466M_H^{-0,985} (R^2 = 0,735), \quad (4)$$

где  $M_H$  – модуль теплового стока за май–октябрь, ТДж/км<sup>2</sup>;  $R$  – коэффициент детерминации.

Параметр  $b$  в формуле (1), как было указано выше, функционально связан с коэффициентом истощения стока  $a$ :

$$b = 1,409a - 0,024. \quad (5)$$

Как видно из формулы (2), для вычисления среднесуточной кривой нужны данные о стоке и температуре воды за май–октябрь. Поэтому для неизученных рек необходимы другие аргументы, с помощью которых можно было бы вычислять коэффициент  $a$  в формуле (1).

В качестве показателя теплового стока реки возьмем следующее произведение:

$$I_{HW} = S(t_y + 20), \quad (6)$$

где  $S$  – норма слоя годового стока, мм;  $t_y$  – среднегодовая температура воздуха, °С; слагаемое 20 введено для приведения среднегодовой температуры воздуха к положительным значениям.

Назовем этот показатель индексом тепловодобеспеченности бассейна (ТВБ).

Коэффициент истощения стока связан с индексом ТВБ (рис. 3):

$$a = 3,907 - 0,402 \ln I_{HW} (R^2 = 0,694). \quad (7)$$

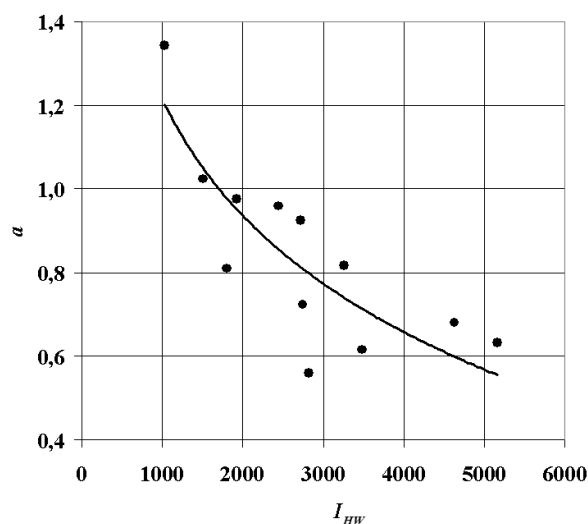


Рис. 3. Связь коэффициента истощения стока  $a$  с индексом ТВБ  $I_{HW}$

Адекватность предложенной математической модели проверялась на двух гидрологических постах, которые не участвовали в выводе расчетных формул: р. Бохача – в 5,4 км от устья (атлантический склон) с площадью водосбора 13 600 км<sup>2</sup> и р. Уптар – п. Уптар (тихоокеанский склон) с площадью водосбора 265 км<sup>2</sup>. На рис. 4 видно, что расчетные среднесуточные кривые неплохо соответствуют натурным данным, так, например, расчетные объемы стока за октябрь–апрель отличаются от наблюдаемых на 11,4–14,7 %.

Предложенная модель удовлетворительно работает и для конкретных лет (рис. 5), отклонения расчетных объемов стока за октябрь–апрель от наблюдаемых лежат в пределах 3,3–16,7 %, т. е. можно предвычислять ежедневные расходы воды на любой непромерзающей реке на полгода вперед (середина октября – середина апреля). Для этого необходимо измерить расход воды в середине октября или

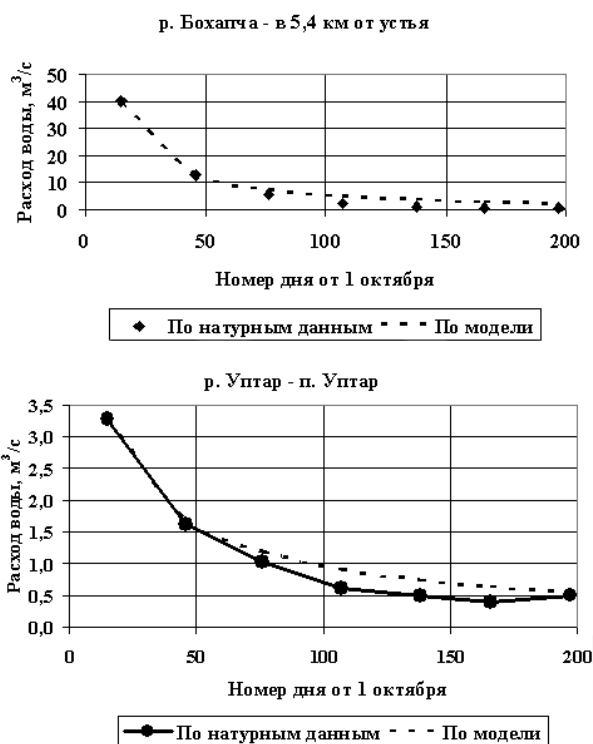


Рис. 4. Среднегодовые кривые истощения зимнего стока рек Боханчи и Уптара

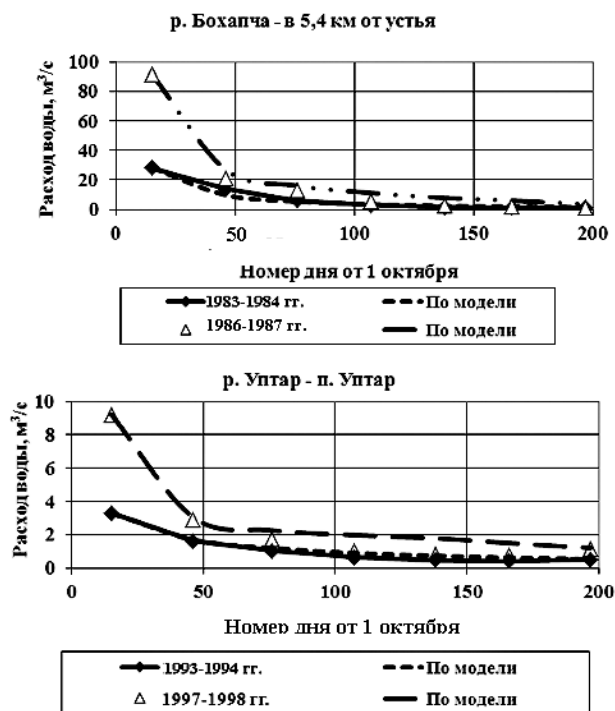


Рис. 5. Кривые истощения стока рек Боханчи и Уптара в маловодные и многоводные зимы

же определить его по модулю расхода ближайшей реки-аналога. Норму слоя годового стока для неизученных рек в формуле (6) можно рассчитать по СП 33-101–2003<sup>5</sup>, а среднегодовую температуру воздуха определить по ближайшим метеорологическим станциям или по климатической карте среднегодовой температуры воздуха<sup>6</sup>.

**Заключение.** Анализ гидрографов непромерзающих рек Северо-Востока России показал, что зимний сток на реках тихоокеанского склона ГВЗ истощается менее интенсивно и не так глубоко, как на реках атлантического. Это обусловлено климатическими различиями.

Убывание зимних расходов воды происходит по экспоненциальной кривой. Коэффициент истощения стока связан с тепловым стоком реки, косвенно характеризующим режим поступления тепла и влаги на водосбор. Для неизученных рек предложен индекс ТВБ, представляющий собой произведение нормы слоя годового стока и среднегодовой температуры воздуха по шкале Цельсия, увеличенной на 20 °С.

Таким образом, полученная математическая модель кривых истощения стока позволяет предвычислять ежедневные расходы воды на полгода вперед (середина октября – середина апреля) не только на работающих гидрологических постах, но и на неизученных реках.

<sup>5</sup>СП 33-101–2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М., 2004. 74 с.

<sup>6</sup>Национальный атлас России. Т. 2. Природа и экология. М., 2004. URL: <http://xn--80aaaabhnclcci1cl5c4ep.xn--p1ai/cd2/158-159/158-159.htm> (дата обращения: 12.03.2015).

### Список литературы

1. Чехов А.Д. Тектоническая эволюция Северо-Востока Азии (окаинно-морская модель). М., 2000. 204 с.
2. Глотова Л.П., Глотов В.Е. Общие закономерности подземного питания рек на Северо-Востоке России // Изв. Самар. науч. центра РАН. 2015. Т. 17, № 6. С. 63–69.
3. Калабин А.И. Вечная мерзлота и гидрогеология Северо-Востока СССР // Труды ВНИИ-1. Т. 18. Магадан, 1960. 469 с.
4. Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток / под ред. Э.Д. Ершова. М., 1989. 515 с.
5. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 19. Л., 1969. 282 с.
6. McNamara J.P., Kane D.L., Hinzman L.D. Hydrograph Separations in an Arctic Watershed Using Mixing Model and Graphical Techniques // Water Resources Research. 1997. Vol. 33, № 7. P. 1707–1720.
7. Глотов В.Е., Глотова Л.П. Особенности питания рек подземными водами на арктическом склоне Чукотки: теоретические и практические аспекты // Вест. Сев.-Восточ. науч. центра Дальневосточ. отд-ния РАН. 2010. № 1. С. 89–98.
8. Lobanov S.A., Ushakov M.V. The River Water Resources of the Magadan Region and Their Long-Term Variability // Geography and Natural Resources. 2008. Vol. 29, № 3. P. 247–250.
9. Ushakov M.V. Laws Depletion Streamflow in Basin Kolyma in Winter Lowest Water Level // 4th International Multidisciplinary Conference on Hydrology and Ecology: Emerging Patterns, Breakthroughs and Challenges. Rennes, 2013. P. 15.
10. Ушаков М.В. Истощение осенне-зимнего стока в ручьях Колымской воднобалансовой станции (Верхняя Колыма) // Чтения памяти академика К.В. Симакова: материалы докл. Всерос. науч. конф. (Магадан, 26–28 ноября 2013 г.). Магадан, 2013. С. 112–114.
11. Ушаков М.В. Математическое описание истощения стока рек Северного Приохотоморья // Актуальні проблеми дослідження довкілля: збірник наукових праць (за матеріалами V Міжнародної наукової конференції, 23–25 травня 2013 р., м. Суми). Т. 2. Суми, 2013. С. 249–253.
12. Ушаков М.В. Особенности подземного питания рек на разных склонах Главного водораздела Земли (на примере рек Северо-Востока России) // Фундаментальные и прикладные проблемы гидрогеологии: материалы Всерос. совещ. по подземным водам Востока России (Якутск, 22–28 июня 2015 г.). Якутск, 2015. С. 338–341.
13. Михайлов В.Н., Добровольский А.Д. Общая гидрология. М., 1991. 368 с.

### References

1. Chekhov A.D. *Tektonicheskaya evolyutsiya Severo-Vostoka Azii (okrainno-morskaya model')* [Tectonic Evolution of the North-East Asia (Marginal Sea-Model)]. Moscow, 2000. 204 p.
2. Glotova L.P., Glotov V.E. *Obshchie zakonomernosti podzemnogo pitaniya rek na Severo-Vostoke Rossii* [General Regularities of the Rivers Ground Water Inflow in the North-East of Russia]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2015, vol. 17, no. 6, pp. 63–69.
3. Kalabin A.I. *Vechnaya merzlota i gidrogeologiya Severo-Vostoka SSSR* [Permafrost and Hydrogeology of the North-East of the USSR]. *Trudy Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta-1*. Magadan, 1960, vol. 1. 469 p.
4. Romanovskiy N.N., Gavrilov A.V., Zaytsev V.N., Lisitsyna O.M., Nistratova T.A., Parmuzin S.Yu. *Geokriologiya SSSR. Vostochnaya Sibir' i Dal'niy Vostok* [Geocryology of the USSR. Eastern Siberia and the Far East]. Ed. by E.D. Ershov. Moscow, 1989. 515 p.
5. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR* [Surface Water Resources of the USSR]. Leningrad, 1969, vol. 19. 282 p.



6. McNamara J.P., Kane D.L., Hinzman L.D. Hydrograph Separations in an Arctic Watershed Using Mixing Model and Graphical Techniques. *Water Resources Research*, 1997, no. 33(70), pp. 1707–1720.
7. Glotov V.E., Glotova L.P. Osobennosti pitaniya rek podzemnymi vodami na arkticheskom sklone Chukotki: teoreticheskie i prakticheskie aspekty [Features of the Rivers Ground Water Inflow on the Arctic Slope of Chukotka]. *Vestnik Severo-Vostochnogo nauchnogo tsentra DVO RAN* [Bulletin of the North-East Scientific Center, Far East Branch of the Russian Academy of Sciences], 2010, no. 1, pp. 89–98.
8. Lobanov S.A., Ushakov M.V. The River Water Resources of the Magadan Region and Their Long-Term Variability. *Geography and Natural Resources*, 2008, vol. 29, no. 3, pp. 247–250.
9. Ushakov M.V. Laws Depletion Streamflow in Basin Kolyma in Winter Lowest Water Level. *The 4th Int. Multidisciplinary Conf. on Hydrology and Ecology: Emerging Patterns, Breakthroughs and Challenges*. Rennes, 2013, p. 15.
10. Ushakov M.V. Istoshchenie osenne-zimnego stoka v ruch'yakh Kolymskoy vodnobilansovoy stantsii (Verkhnyaya Kolyma) [Depletion of the Autumn-Winter Flow in Streams of the Kolyma Water Balance Station (Upper Kolyma)]. *Chteniya pamyati akademika K.V. Simakova: materialy dokl. Vseros. nauch. konf. (Magadan, 26–28 noyabrya 2013 g.)* [Proc. Sci. Conf. “Readings in Memory of Academician K.V. Simakov (Magadan, 26–28 November 2013)”]. Magadan, 2013, pp. 112–114.
11. Ushakov M.V. Matematicheskoe opisanie istoshcheniya stoka rek Severnogo Priokhotomor'ya [The Mathematical Description of the River Flows Depletion of the North Priokhotomorie]. *Aktual'ni problemi doslidzhennya dovkilya: zbirnik naukovykh prats' (za Materialami V Mizhnarodnoi naukovoï konferentsii, 23–25 travnya 2013 r., m. Sumy)* [Actual Problems of the Environmental Research. Collected Works (Based on the 5th Int. Sci. Conf., May 23–25, 2013, Sumy)]. Sumy, 2013, vol. 2, pp. 249–253.
12. Ushakov M.V. Osobennosti podzemnogo pitaniya rek na raznykh sklonakh Glavnogo vodorazdela Zemli (na primere rek Severo-Vostoka Rossii) [Features of the Ground Water Inflow of Rivers on Different Slopes of the Main Watershed of the Earth (for Example, the Rivers of the North-East of Russia)]. *Fundamental'nye i prikladnye problemy gidrogeologii: materialy Vseros. soveshch. po podzemnym vodam Vostoka Rossii (Yakutsk, 22–28 iyunya 2015 g.)* [Fundamental and Applied Problems of Hydrogeology: Proc. All-Russ. Conf. on Underground Waters of the East of Russia (Yakutsk, 22–28 June 2015)]. Yakutsk, 2015, pp. 338–341.
13. Mikhaylov V.N., Dobvol'skiy A.D. *Obshchaya gidrologiya* [General Hydrology]. Moscow, 1991. 368 p.

doi: 10.17238/issn2227-6572.2016.3.5

*Mikhail V. Ushakov\**

\*North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute named after N.A. Shilo,  
Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences (Magadan, Russian Federation)

## **A MODEL OF THE WINTER RUNOFF DEPLETION CURVES IN THE NORTHEAST OF RUSSIA**

The North-East of Russia is the region supplied by water in terms of the average annual runoff; but every winter it turns into the water-stressed region. In order to develop measures to reduce the action of this negative hydroecological factor we are to examine the change patterns of the stream runoff in wintertime. The work objective is to obtain a mathematical model of the run-off depletion curves for the non-frozen rivers of the North-East of Russia in the winter runoff low and to apply it to the prediction of daily water discharge. Based on the analysis of the winter runoff hydrographs of the non-frozen rivers of the North-East of Russia we revealed the differences in the nature of runoff depletion on both sides of the

main watershed of the Earth, due to the climatic conditions. The run-off winter depletion curves are well described by an exponential function. The runoff depletion coefficient is associated with a heat runoff of a river, indirectly characterizing the heat and moisture input regime in the water catchment area. For the unexplored rivers we propose a heat and water availability index of a basin, which is a product of the rate of the annual flow layer and the long-time average annual air temperature Centigrade, increased by 20 °C. The resulting mathematical model allows precomputing the daily water discharge in the next six months (mid-October – mid-April) at the operating hydrological stations and at the unexplored rivers. To do this, we need to measure the water discharge in mid-October, or define it according to the rate of discharge of the nearest similar river. The model is verified according to two hydrological stations, which were not used in the development of the calculation model, i.e. on the independent data. The accuracy of the calculation of the long-time average annual winter runoff curves is 11.4...14.7 %, and the runoff curves of the specific years – 3.3...16.7 %.

**Keywords:** hydrograph, discharge of water, winter runoff low, watershed, heat runoff, temperature, runoff depletion.

Received on April 19, 2016

Поступила 19.04.2016

---

**Corresponding author:** Mikhail Ushakov, address: Portovaya str., 16, Magadan, 685000, Russian Federation; e-mail: mvilorich@narod.ru

**For citation:** Ushakov M.V. A Model of the Winter Runoff Depletion Curves in the Northeast of Russia. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Ser.: Estestvennye nauki*, 2016, no. 3, pp. 5–14. doi: 10.17238/issn2227-6572.2016.3.5