

## Анализ современных изменений стока горных рек криолитозоны (на примере Верхней Колымы)

Н. В. Ухов ✉

*Институт биологических проблем Севера Дальневосточного отделения  
Российской академии наук, Российская Федерация  
(695000, г. Магадан, ул. Портовая, 18)*

**Аннотация.** Цель – оценить особенности формирования поверхностной составляющей стока горных рек криолитозоны под влиянием современных антропогенных и климатических воздействий.

**Материалы и методы.** Для водотоков различных размеров и степени нарушений долин Верхней Колымы вычислены средние расходы за 30–летние периоды (VI – IX месяцы) до- и после активной фазы потепления. Проведен анализ изменения водности рек с учетом мерзлотно-гидрогеологических условий и техногенных нарушений в их долинах. Прослежено влияние климатических и техногенных факторов на сток рек с учетом мощности хорошо проницаемого аллювия в поймах.

**Результаты и обсуждение.** Для периода активной фазы изменения климата выявлена устойчивая связь активизации таяния многолетнего льда на водосборах на сток рек. Установлена роль процесса расширения таликов в снижении поверхностной составляющей стока рек с ненарушенными и нарушенными техногенезом долинами. Прослежена роль влияния мощности хорошо проницаемых галечниковых отложений и техногенных нарушений в поймах рек на поверхностную составляющую стока.

**Выводы.** На примере рек бассейна верховий реки Колыма дано геоэкологическое обоснование различного отклика стока рек на активную фазу глобального изменения климата. Для этого периода установлена важная роль в формировании поверхностной составляющей стока противоположных по своей направленности процессов активизации таяния многолетнего льда на водосборах и расширения таликов в долинах рек.

**Ключевые слова:** криолитозона горные водотоки, потепление климата, галечниковый аллювий, талики, техногенез долин, сток.

**Для цитирования:** Ухов Н. В. Анализ современных изменений стока горных рек криолитозоны (на примере Верхней Колымы) // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2024, № 1, с. 90-96. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/1/90-96>

### ВВЕДЕНИЕ

С начала 30-х годов прошлого столетия в долинах рек рассматриваемой территории интенсивно разрабатываются россыпи цветных металлов. В период глобальных изменений климата особую актуальность приобретает установление влияния основных геоэкологических факторов на формирование стока рек с ненарушенными и нарушенными техногенезом долинами.

Бассейн верховий реки Колыма расположен в пределах одноименного нагорья и представляет собой типичное среднегорье. [15]. В связи с горным характером территории в долинах рек преобладает русловая фацция аллювия. В долинах рек аллювий мощностью, обычно, не превышающей 12-15м, залегает на мезозойских песчано-глинистых сланцах. Он представлен преимущественно галечниками с песчаным заполнителем и характеризуется высокой водопроницаемостью [4]. В руслах, реке, поймах рек с большими уклонами аллювий маломощный, местами или полностью отсутствует. Как правило, с поверхности аллювий перекрыт

пойменными песчано-супесчаными отложениями небольшой мощности, до 1,5-2,0 м [4, 13].

Климат территории резко континентальный суровый со среднегодовой температурой воздуха ниже минус 10 °С, что и обуславливает сплошное развитие многолетней мерзлоты мощностью до 450-600 м. Здесь многолетнемерзлые отложения, как правило, льдистые. Они содержат прослой, линзы и жилы льда, которые при оттаивании могут быть дополнительным источником свободной влаги [13]. Сезонное оттаивание грунтов изменяется от 0,4 м в торфах до 2,5 м – в галечниках [4, 13].

Положительные температурами воздуха устанавливаются, как правило, с конца мая до октября, причем наиболее высокие их среднемесячные значения наблюдаются в июле: – 12,5 – 14,5 °С [2].

Среднегодовое количество осадков 300-400 мм, причем большая их часть выпадает в теплый период [2]. Более 90% годового стока приходится на теплый период (май-сентябрь). Зимой расходы рек незначительные, а



многие промерзают [7]. В конце весны начинается половодье, продолжающееся до середины июня.

Вследствие отепляющего влияния водотоков мощность многолетней мерзлоты в долинах рек уменьшается на 150-250 м по сравнению с водоразделами. Здесь под руслами, реке, поймами рек в галечниковом аллювии циркулируют подземные воды, непромерзающие зимой гидрогенные талики [4]. Индикаторами таликов служат высокопродуктивные тополево-чозениевые леса, произрастающие вдоль русел водотоков [4].

В местах сужения поперечного сечения потока грунтовых или речных вод формируются сезонные или многолетние, нередко, гигантские наледы. В качестве примера рассмотрено 7 водотоков, долины большинства их характеризуются высокой наледностью (рис.). Так, в долине реки Кулу площадь наледей составляет 5 км<sup>2</sup>, реки Берелёх – 3270 км<sup>2</sup>, реки Детрин – 1300 км<sup>2</sup> [5, 15]. В зависимости от типа и размера наледей их роль в формировании сезонного и многолетнего стока, весьма существенна [4].



Рис. Схема водотоков и гидростворов (посты: 1 – Бохапча, 2 – Кулу, 3 – Ягодный, 4 – Усть-Омчуг, 5 – Детрин, 6 – Оротукан, 7 – Сусуман)  
[Fig. Scheme of watercourses and hydraulic structures (posts: 1 – Bokhapcha, 2 – Kulu, 3 – Yagodny, 4 – Ust-Omchug, 5 – Detrin, 6 – Orotukan, 7 – Susuman)]

Изменение водности рек при возрастании температуры воздуха в последние десятилетия отмечается во многих районах криолитозоны. В большинстве случаев имеет место увеличение водности рек [6, 7, 11, 13, 16, 19]. Например, в активную фазу потепления (после 1980 года) на створах реки Вилюй среднегодовые расходы существенно возросли, до 50% [20]. На водотоках Северной Америки, западнее реки Макензи, фиксируется увеличение поверхностного, а также и подземного стока [19].

В тоже время, потепление климата в горных районах криолитозоны не всегда приводит к увеличению водности рек [6, 7, 18]. На створах некоторых водотоков установлено снижение стока, например, довольно крупных притоков рек Колыма, Сугой, Таскан, а также рек Западной Чукотки (рек Паляваам и Пеймына) [6, 7]. Авторы связывают снижение расходов реки с увеличением потерь влаги на испарение, включая эвапотранспирацию.

К основным видам антропогенного воздействия на пойменные геоэкосистемы рек территории относит-

ся, разработка россыпного золота, а также строитель-но-хозяйственная деятельность в населенных пунктах.

Освоение россыпей сопровождается промывкой так называемых золотоносных песков, в процессе которой происходит разделение аллювия на мелкозёмистую и крупнообломочные фракции. В результате этого водопроницаемость отложений возрастает на порядок и более, что существенно изменяет режимы поверхностных и грунтовых вод в нарушенных техногенезом долинах рек [5].

На берегах рек строитель-но-хозяйственная деятельность в районе населенных пунктов включает массовую застройку тепловыделяющими зданиями, коммуникациями, возведение защитных дамб и т. д. В связи с этим здесь активизируется оттаивание многолетнемерзлых грунтов, которое в прирусловой полосе водотоков приводит к расширению природных и формированию природно-техногенных таликов, например, в районе города Сусуман, поселка Ягодное [15].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для территории Восточной Сибири и Севера Дальнего Востока выделяется активная фаза изменения климата, начавшаяся на севере Восточной Сибири и Дальнего Востока с начала 80-х годов прошлого столетия [16, 20]. Например, по данным метеостанции города Сусуман (долина реки Берелех) в активную фазу потепления (1981-2010 годы) средняя температура воздуха возросла на 1,4 °С, а за теплый период (июнь-сентябрь) – на 0,8 °С [2].

Предыдущими исследования были установлены особенности гидротермического режима рек разных порядков [12, 20] В связи с этим выбраны створы на реках различного размера и местоположения: реки Бохапча (5,4 км выше устья), Кулу (поселок Кулу), Детрин (устье реки Омчук), Оротукан (поселок Оротукан), Омчук (поселок Усть-Омчуг) и ручей Ягодное (3,4 км выше устья). По этим створам, были рассчитаны средние расходы водотоков за VI–IX месяцы 30-ти летних периодов, до 1981 года и после 1980 года (табл. 1)

Таблица 1

Динамика расходов водотоков при потеплении  
[Table 1. Dynamics of water flow discharges during warming]

Водоток / Watercourse	Параметры стока / Flow options	
	площадь водосбора, км <sup>2</sup> / catchment area, km <sup>2</sup>	расходы воды (VI–IX мес.), млн. м <sup>3</sup> / expenses of water (VI–IX months), mln. m <sup>3</sup> *
Река Бохапча	13600	3209,6
		4447,2
Река Кулу	10300	2533,8
		2678,0
Ручей Ягодный	100	17,0
		17,1
Река Детрин	4900	903,9
		903,9
Река Оротукан	740	236,1
		144,3
Река Омчук	583	107,9
		86,3

\*. В числителе приведены расход водотоков: до 1981 года, знаменателе – после 1980 года.

[\* In the numerator shows the flow of watercourses: before 1981, the denominator – after 1980].

Автор признателен к.г.н. В. М. Ушакову за помощь в получении исходной гидрометеорологической информации.

В работе рассчитаны и проанализированы среднесезонные значения стока до 1980 года, исходные данные по которым взяты из официальных источников [8], а после 1980 года (1981-2010) – по ежегодным данным фондовых материалов ФГБУ «Колымагидромет».

Гидрологические условия постов, изучены в соответствующих ежегодниках [8]. Гидростворы рассматриваемых постов выбраны на односторонних, суженных отрезках русел водотоков с устойчивым ложем, что вполне соответствует нормативным требованиям их размещения [10].

Исходя из имеющейся информации, в период потепления на створах горных рек криолитозоны из-за активизации процессов таяния многолетнемерзлого аллювия не может ни происходить формирование новых и расширение существующих таликов. Наличие такой взаимосвязи косвенно подтверждает снижение расходов на некоторых водотоках. Отсюда следует, что величина уменьшения поверхностной составляющей стока соизмерима с увеличением его подземной составляющей. На основе компьютерной программы Microsoft Excel производились вычисления гидрологических данных.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В последние десятилетия формирование стока водотоков происходит в условиях климатических изменений, а на многих водотоках с нарушениями днищами долин горнотехническим и строительно-хозяйственным комплексами. Выделяются водотоки с естественным или слабо нарушенным поймами, реки Бохапча, Кулу, ручей Ягодное и нарушенными – реки Берелех, Детрин, Оротукан, Омчук.

В первом приближении по вертикальному протяжению галечников выделяются поймы с малой, средней и большой их мощностью. На поймах водотоков с малой мощностью галечника (менее 2,0-2,5 м) грунты в зимний период промерзают, и талики здесь, как правило, не образуются. При большой мощности галечников, более 10-12 м, характерны более благоприятные условия формирования таликов. На основании анализа материалов инженерно-геологических изысканий, горных и геологосъемочных работ наибольшая мощность хорошо проницаемого аллювия характерна для пойм рек Кулу, Берелех, Детрин, Омчук средняя – для рек Оротукан, ручья Ягодное, малая – реки Бохапча.

Считаем, что в период потепления кроме внешних, климатических факторов расходы рек зависят также и от относительной мощности хорошо водопроницаемого галечникового аллювия, техногенных факторов (степени и вида нарушений) и их сочетаний. Результаты расчета приращения стока рек в различных геоэкологических условиях приведены в таблице 2.

Рассмотрим изменение стока на примере двух наиболее крупных водотоков: реки Кулу и Бохапча, с

практически не нарушенными долинами и близкими величинами площадей водосборных бассейнов (соответственно, 10,3 и 13,6 тыс. км<sup>2</sup>).

Русло реки Бохапча расположено, преимущественно в слабо или практически непроницаемых коренных породах, поэтому гидрогенные талики здесь не характерны. В период активной фазы потепления (после 1980 года) водность реки Бохапча увеличилась на 18% (см. табл. 2).

Таблица 2

Приращение стока и геоэкологические параметры пойм водотоков  
[Table 2. Runoff increment and geocological parameters of watercourses floodplains]

Водотоки / Water-courses	Прирост расходов(VI–IX мес.) / Growth of expenses (VI–IX months)		Мощность галечника / thickness of pebble *	Нарушения комплексами: / Complex violations:	
	абсолютн., млн. м <sup>3</sup> / absolute, million m <sup>3</sup>	относит., % / relative, %		Горным / mountainous	строительн. / construction
Бохапча	867,6	18	М	–	–
Кулу	147,2	10	Б	–	–
Ягодный	0,1	1	С	–	–
Детрин	0	0	Б	+	+
Оротукан	-91,8	- 39	С	+	–
Омчук	- 21,6	- 20	Б	+	+

\* Мощность галечник: Б – большая, С – средняя, М – малая; нарушения комплексами + – присутствуют, – – отсутствуют.

[\* Thickness of pebble: B – large, C – medium, M – small; disturbances by complexes, + – present, – – absent]

Совсем иное строение имеет пойма реки Кулу. Здесь мощность галечникового аллювия большая, поэтому русло реки меандрирует в аллювии. Вдоль русел реки обильно произрастает азональная тополе-чозениевая растительность, которая свидетельствует о широком распространении здесь подрусловых и пойменных таликов. Для бассейна реки характерна высокая наледность, которая в период потепления наряду с оттаиванием льдистых многолетнемерзлых грунтов в той или иной мере увеличивает водность реки. В то же время наличие мощного галечникового аллювия в районе створа благоприятствует расширению таликов. В связи с этим расходы поверхностной составляющей стока на створе реки Кулу возросли (10%), однако несколько меньше, чем на створе реки Бохапча (18%).

Ручей Ягодный характеризуется наименьшей из рассматриваемых водотоков площадью водосбора и средней мощностью галечникового аллювия. Для него отмечается лишь незначительное увеличение стока (около 1%).

Остальные реки отличаются сильным нарушением днищ долин и пойм. Расходы этих водотоков с сильно нарушенными долинами горным и строительно-хозяйственным комплексами не увеличиваются, а, как правило, уменьшаются (см. табл. 2). Так, в днище долин рек Детрин, Омчук разрабатывались отчасти и продолжают осваиваться месторождения россыпного золота выше и ниже гидростворов. Во многих населенных пунктах, расположенных по берегам рассматриваемой территории (например, город Сусуман, поселок Ягодное), на фоне потепления и массовой застройки территории, многолетняя мерзлота деградирует [15]. Здесь под влиянием климатических и техногенных факторов, происхо-

дит расширение природных таликов с формированием обширных природно-техногенных образований. Кроме того, на гидрометеостанции Усть-Омчуг в период изменения климата отмечается увеличение среднегодовых атмосферных осадков на 52 мм, причем большая часть прибавки приходится на август [1]. Следует отметить, что для реки Детрин дополнительным источником воды служила вода от таяния гигантской многолетней Амангындинской наледи (объем до 8,5 млн. м<sup>3</sup>). В период активной фазы потепления (начало 90-х годов прошлого столетия) объем наледи уменьшился на 33% и произошла ее трансформация в сезонную [1, 9].

Несмотря на увеличение атмосферных осадков и высокую наледность бассейна реки Детрин, поверхностная составляющая стока реки на посту осталась без изменений. Это может свидетельствовать лишь о существенном увеличении, в целом, водности реки, в первую очередь, подземной составляющей стока в районе поста. На створе реки Омчуг, несмотря на увеличение атмосферных осадков, зафиксированном на гидрометеостанции Усть-Омчуг, поверхностная составляющая стока уменьшилась на 21,6 млн. м<sup>3</sup> (20%). Следует ожидать, что объем прируслового потока грунтовых вод вырос не менее величины снижения поверхностной составляющей стока на гидростворе.

Долина реки Оротукан практически на всем протяжении сильно нарушена горными выработками при освоении золотоносных россыпей, поэтому, несмотря на среднюю мощность галечникового аллювия, на створе отмечается наибольшее сокращение поверхностной составляющей стока (39%). Следовательно, в период потепления проявляется дифференцированный отклик изменения поверх-



ностного стока рек в зависимости от геоэкологических условий в долинах рек Верхней Колымы. Это позволяет интерпретировать выявленные в работе тенденции и некоторые закономерности динамики стока для большинства горных водотоков в других районах криолитозоны.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Геоэкологические условия, связанные с процессами таяния многолетнего подземного и поверхностного льда, с одной стороны, способствуют увеличению поверхностной отставляющей стока (до 18%), а, с другой, – расширению таликов, особенно при техногенном нарушении долин, их уменьшению (местами до 39%). В последнем случае таяние многолетнемерзлых грунтов в прирусловой полосе и расширение таликов приводит к увеличению подземной и уменьшению поверхностной составляющей стока. Таким образом, для оценки современной водности рек в горных районах криолитозоны рекомендуется определять на гидростатах величину подземной отставляющей стока.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеев В.Р., Бояринцев Е.Л., Довбыш В.Н. Многолетняя динамика размеров Амангындинской наледи в условиях изменений климата // *Современные проблемы стохастической гидрологии и регулирования стока*, 2012, с. 298-305.
2. *Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных*. – URL: <http://meteo.ru/data> (дата обращения: 13.04.2021). – Текст: электронный.
3. *Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. Общее резюме*. Москва: Росгидромет, 2014. 59 с.
4. *Геоэкология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток* / Под ред. Э. Д. Ершова. Москва: Недра, 1989. 515 с.
5. Глотова Л.П. Трансформация стока малых горных водотоков бассейна р. Колыма при отработке россыпей // *Проблемы геологии и металлогении Северо-Востока Азии на рубеже тысячелетий*, 2001, с. 125-127.
6. Глотов В.Е., Глотова Л.П. Изменения ресурсов пресных природных вод в горных районах криолитозоны при глобальном потеплении климата (на примере Северо-Востока России) // *Известия СамарНЦ РАН*, 2011, т. 13 (39), № 1-6, с. 1408-1412.
7. Глотов В.Е., Ушаков М.В. Климатически обусловленные изменения стока заполярных рек Западной Чукотки / *Криосфера Земли*, 2020, т. 24, № 6, с. 33-44.
8. *Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши, 1980 г.* Магадан: Колымагидромет, 1982, части 1 и 3, том 8, вып. 6, том 9, вып. 7. 254 с.

9. Многолетняя динамика гигантской Амангындинской наледи на Северо-Востоке России (1962-2021 гг.) / А.А. Землянская, В.Р. Алексеев, А.Н. Шихов и др. // *Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России*, 2020, с. 381-384.

10. *Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Гидрологические наблюдения и работы на больших и средних реках*. Ленинград: Издательство: Союзгидромет, 1978. 384 с.

11. Прысов Д.А., Мусоханова А.В. Влияние климатических факторов на годовой сток рек криолитозоны Средней Сибири // *Вестник КрасГАУ*, 2016, № 1, с. 39-46.

12. Самохвалов В.Л., Ухов Н.В. Температурный режим водотоков разных порядков в бассейне Верхней Колымы // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2018, № 4. с. 48-51.

13. Ушаков М.В., Лебедева Л.С. Климатические изменения режима формирования притока воды в Колымское водохранилище // *Научные Ведомости БелГУ. Естественные науки*, 2016, вып. 37, № 25 (246), с. 120-127.

14. Ухов Н.В. Криогенные процессы и явления в долинах рек горных районов Северо-Востока России // *Естественные и технические науки*, 2008, № 6 (38), с. 185-191

15. Ухов Н.В., Басистый В.А. Геоэкологические исследования в приталиковых зонах речных долин Северо-Востока России при их массовой застройке // *Инженерные изыскания*, 2013, № 4, с. 58-64.

16. Юмина Н.М., Терешина М.А. Многолетние изменения стока рек бассейна Вилюя // *Вестник Московского университета. Серия 5. География*, 2017, № 6, с. 62-70.

17. Burn D.H. Hydrological effects of climatic change in west-central Canada // *Journal of Hydrology*, 1994, vol.160, no. 1/4, pp. 53-62.

18. Miller J. R. and G. L. Russell. The impact of global warming in river runoff // *Journal of Geophysical Research*, 1992, res. 97, pp. 2757-2764.

19. Rawlins M.A., Cai L., Stuefer S.L. and Nicolsky D. Changing characteristics of runoff and freshwater export from watersheds draining northern Alaska // *The Cryosphere*, 2019, vol. 13, no. 2, pp. 337-3352.

20. Ushakov M.V., Ukhov N.V. Modern changes in the Thermal Regime of Mountain Rivers in the Permafrost Zone (A Case Study for the Upper Kolyma) // *Allerton Press in Russian. Meteorology and Hydrology*, 2020, vol. 45, pp. 858-863.

**Конфликт интересов:** Автор декларирует отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 05.06.2023

Принята к публикации: 01.03.2024

## Analysis of Modern Changes in the Runoff of Mountain Rivers in the Permafrost Zone (on the Example of the Upper Kolyma)

N. V. Ukhov ✉

*Institute of Biological Problems of the North, Far Eastern Branch  
of the Russian Academy of Sciences, Russian Federation  
(18, Portovaya st., Magadan, 685000)*

**Abstract:** The purpose is to assess the peculiarities of formation of the surface component of the runoff of mountain rivers of the permafrost zone under the influence of modern anthropogenic and climatic impacts.

**Materials and methods.** For watercourses of different sizes and degree of disturbance in the Upper Kolyma valleys, the mean discharge for 30-year periods (months VI - IX) before and after the active warming phase was calculated. The analysis of changes in river water content with regard to permafrost and hydrogeological conditions and anthropogenic disturbances in their valleys was carried out. The influence of climatic and anthropogenic factors on river runoff was traced, taking into account the thickness of well-permeable alluvium in floodplains.

**Results and discussion.** For the period of the active phase of climate change, a stable connection between the intensification of melting of perennial ice on catchments and river runoff has been revealed. The role of the process of talik expansion in the reduction of the surface component of the runoff of rivers with undisturbed and technogenesis-disturbed valleys has been established. The role of the influence of the thickness of well-permeable gravel deposits and anthropogenic disturbances in floodplains on the surface component of runoff has been traced.

**Conclusions.** The geo-ecological substantiation of the different response of river runoff to the active phase of global climate change is given on the example of rivers in the upper Kolyma River basin. For this period, the important role in the formation of the surface component of runoff of the opposite in its orientation processes of activation of melting of perennial ice at catchments and expansion of taliks in river valleys has been established.

**Key words:** permafrost zone, mountain watercourses, climate warming, pebble alluvium, taliks, valley technogenesis, runoff.

**For citation:** Ukhov N. V. Analysis of Modern Changes in the Runoff of Mountain Rivers in the Permafrost Zone (on the Example of the Upper Kolyma). *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografya. Geoekologiya*, 2024, no. 1, pp. 90-96 (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2024/1/90-96>

### REFERENCES

1. Alekseev V.R., Boyarintsev E.L., Dovbysh V.N. Mnogoletnyaya dinamika razmerov Amangyndinskoy naledi v usloviyakh izmeneniy klimata [Long-term dynamics of the size of the Amangynda ice in the conditions of climate change]. *Sovremennyye problemy stokhasticheskoy gidrologii i regulirovaniya stoka*, 2012, pp. 298-305. (In Russ.)
2. *All-Russian Research Institute of Hydrometeorological Information – World Data Center*. – URL: <http://meteo.ru/data> (accessed 13.04.2021). – Text: electronic. (In Russ.)
3. Vtoroy otsenochnyy doklad Rosgidrometa ob izmeneniyakh klimata i ikh posledstviyakh na territorii Rossiyskoy Federatsii. Obshchee rezhyume [The second assessment report of Roshydromet on climate change and its consequences on the territory of the Russian Federation. General summary]. Moscow: Rosgidromet, 2014. 59 pp. (In Russ.)
4. Geokriologiya SSSR. Vostochnaya Sibir' i Dal'niiy Vostok [Geocryology of the USSR. Eastern Siberia and the Far East] / Pod red. E.D. Ershova. Moscow: Nedra, 1989. 515 p. (In Russ.)
5. Glotova L.P. Transformatsiya stoka malyykh gornykh vodotokov basseyna r. Kolyma pri otrabotke rosspey [Transformation of the flow of small mountain streams of the Kolyma river basin during placer mining]. *Problemy geologii i metallogenii Severo-Vostoka Azii na rubezhe tysyacheletiy*, 2001, pp. 125-127. (In Russ.)
6. Glotov V.E., Glotova L.P. Izmeneniya resursov presnykh prirodnykh vod v gornykh rayonakh kriolitozony pri global'nom poteplenii klimata (na primere Severo-Vostoka Rossii) [Changes in fresh natural water resources in the mountainous areas of the cryolithozone with global climate warming (on the example of the North-East of Russia)]. *Izvestiya SamarNTs RAN*, 2011, vol. 13 (39), no. 1-6, pp. 1408-1412. (In Russ.)
7. Glotov V.E., Ushakov M.V. Klimaticheski obuslovlennyye izmeneniya stoka zapolyarnykh rek Zapadnoy Chukotki [Climatically determined changes in the flow of the polar rivers of Western Chukotka]. *Kriosfera Zemli*, 2020, vol. 24, no. 6, pp. 33-44. (In Russ.)
8. *Ezhegodnye dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushy, 1980 g.* [Annual data on the regime and resources of land surface waters, 1980]. Magadan: Kolymagidromet, 1982, chasty 1 i 3, vol. 8, v. 6, vol. 9, v. 7. 254 p. (In Russ.)
9. Mnogoletnyaya dinamika gigantskoy Anmangyndinskoy naledi na Severo-Vostoke Rossii (1962-2021 gg.) [Long-term dynamics of the giant Anmangynda ice in the North-East of Russia (1962-2021)] / A.A. Zemlyanskova, V.R. Alekseev, A.N. Shikhov i dr. *Geologiya i mineral'no-syr'evyye resursy Severo-Vostoka Rossii*, 2020, pp. 381-384. (In Russ.)

© Ukhov N. V., 2024

✉ Nikolay V. Ukhov, e-mail: [nukhov@mail.ru](mailto:nukhov@mail.ru)



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

10. *Nastavlenie gidrometeorologicheskim stantsiyam i postam. Gidrologicheskie nablyudeniya i raboty na bol'shikh i srednikh rekakh* [Instruction to hydrometeorological stations and posts. Hydrological observations and work on large and medium rivers]. Leningrad: Izdatel'stvo: Soyuzgidromet, 1978. 384 p. (In Russ.)

11. Prysov D. A., Musokhranova A. V. Vliyaniye klimaticheskikh faktorov na godovoy stok rek kriolitozony Sredney Sibiri [Influence of climatic factors on the annual flow of rivers in the cryolithozone of Central Siberia]. *Vestnik KrasGAU*, 2016, no. 1, pp. 39-46. (In Russ.)

12. Samokhvalov V. L., Ukhov N. V. Temperaturnyy rezhim vodotokov raznykh poryadkov v bassejne Verkhney Kolymy [Temperature regime of watercourses of different orders in the Upper Kolyma basin]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografiya. Geoekologiya*, 2018, no. 4, pp. 48-51. (In Russ.)

13. Ushakov M. V., Lebedeva L. S. Klimaticheskie izmeneniya rezhima formirovaniya pritoka vody v Kolymskoe vodokhranilishche [Climatic changes in the regime of formation of water inflow to the Kolyma reservoir]. *Nauchnye Vedomosti BelGU. Estestvennye nauki*, 2016, v. 37, no. 25 (246), pp. 120-127. (In Russ.)

14. Ukhov N. V. Kriogennyye protsessy i yavleniya v dolinakh rek gornyykh rayonov Severo-Vostoka Rossii [Cryogenic processes and phenomena in the river valleys of the mountainous regions of the North-East of Russia]. *Estestvennye i tekhnicheskie nauki*, 2008, no. 6 (38), pp. 185-191. (In Russ.)

15. Ukhov N. V., Basisty V. A. Geokriologicheskie issledovaniya v pritalikovykh zonakh rechnyykh dolin Severo-Vostoka

Rossii pri ikh massovoy zastroyke [Geocryological studies in the tributary zones of the river valleys of the North-East of Russia during their mass construction]. *Inzhenernye izyskaniya*, 2013, no. 4, pp. 58-64. (In Russ.)

16. Yumina N. M., Tereshina M. A. Mnogoletnie izmeneniya stoka rek basseyna Vilyuya [Long-term changes in the flow of rivers of the Vilyuya basin]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya*, 2017, no. 6, pp. 62-70. (In Russ.)

17. Burn D. H. Hydrologi ceffectsof climatic changein west-central Canada. *Journal of Hydrology*, 1994, vol.160, no. 1/4, pp. 53-62.

18. Miller J. R. and G. L. Russell. The impact of global warming in river runoff. *Journal of Geophysical Research*, 1992, res. 97, pp. 2757-2764.

19. Rawlins M. A., Cai L., Stuefer S. L. and Nicolsky D. Changing characteristics of runoff and freshwater export from watersheds draining northern Alaska. *The Cryosphere*, 2019, vol. 13, no. 2, pp. 337-3352.

20. Ushakov M. V., Ukhov N. V. Modern changes in the Thermal Regime of Mountain Rivers in the Permafrost Zone (A Case Study for the Upper Kolyma). *Allerton Press in Russian. Meteorology and Hydrology*, 2020, vol. 45, pp. 858-863.

**Conflict of interests:** The author declares no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

Received: 05.06.2023

Accepted: 01.03.2024

Ухов Николай Васильевич

кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Института биологических проблем Севера Дальневосточного отделения РАН, г. Магадан, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-9333-3706, e-mail: nukhov@mail.ru

Nikolay V. Ukhov

Cand. Sci. (Geol. and Miner.), Senior Researcher at the Institute of Biological Problems of the North, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, Magadan, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-9333-3706, e-mail: nukhov@mail.ru