

**ПОВЕРХНОСТНЫЕ И ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ СУШИ**

УДК 556.332.62:556.168 (282.256.86)

DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2020-6(33-44)

**КЛИМАТИЧЕСКИ ОБУСЛОВЛЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ СТОКА  
ЗАПОЛЯРНЫХ РЕК ЗАПАДНОЙ ЧУКОТКИ****В.Е. Глотов, М.В. Ушаков***Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт имени Н.А. Шило ДВО РАН,  
685000, Магадан, ул. Портовая, 16, Россия; geoecol@neisri.ru, mvilorich@narod.ru*

Изучены современные изменения стока заполярных рек Западной Чукотки (бассейн Восточно-Сибирского моря), связанные с происходящим потеплением климата в Арктике. На основе данных многолетних наблюдений за элементами гидрометеорологического режима выявлено увеличение стока большинства рек: при потеплении климата в Заполярье, наряду с ростом атмосферных осадков, активизируется таяние многолетних снежников, гольцового льда и других типов льдов (гидрокриогенного резерва) в каменных глетчерах и иных крупнообломочных образованиях, талые воды которых вовлекаются в водообмен. Выявлена роль геодинамической природы дренируемых террейнов в питании рек. Рассмотрены закономерности накопления и распространения составляющих гидрокриогенного резерва в формировании водного стока.

*Бассейн Восточно-Сибирского моря, потепление климата, речной сток, криолитозона, сезонноталый слой, гидрокриогенный резерв*

**CLIMATE-RELATED CHANGES IN THE RUNOFF  
OF POLAR RIVERS IN WESTERN CHUKOTKA****V.E. Glotov, M.V. Ushakov***Shilo North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute, FEB RAS,  
16, Portovaya str., Magadan, 685000, Russia; geoecol@neisri.ru, mvilorich@narod.ru*

The current changes in the runoff of the polar rivers in Western Chukotka (the basin of the East Siberian Sea), associated with the current climate warming in Arctic regions, have been studied. On the basis of the long-term observations of the hydrometeorological regime, an increase in the runoff for most of the rivers has been revealed. The reason of that is climate warming in the Arctic Circle, which, along with the growth of atmospheric precipitation, activates the thawing of the perennial snowfields, ground ice in rock glaciers, and other types of ice of the hydrocryogenic reserve in rock glaciers and other clastic rocks, where thaw waters are involved in the water exchange. The significance of the geodynamic nature of drained terranes for the river feed has been clarified. The patterns of the accumulation and distribution of the components of the hydrocryogenic reserve in the formation of the river runoff have been considered.

*Basin of the East Siberian Sea, climate warming, river runoff, permafrost zone, seasonal thawing layer, hydrocryogenic reserve*

**ВВЕДЕНИЕ**

Указом Президента России № 296 от 2 мая 2014 г. территория Чукотского автономного округа была включена в состав арктических земель как Восточный арктический сектор [Государственный доклад..., 2018]. Это повлекло за собой значительный рост государственных и частных инвестиций по всем направлениям хозяйственной жизни. Одним из наиболее инвестиционно привлекательных арктических районов стала Западная Чукотка, дренируемая р. Анюй и реками бассейна Чаунской губы Восточно-Сибирского моря. Водосборные площади этих рек расположены севернее Полярного круга, поэтому относятся к заполярным. Бо-

лее 80 лет назад здесь были открыты месторождения олова, затем крупные россыпи золота в долинах рек Малый и Большой Анюй, Пальяваам, разведаны месторождения рудного золота, серебра, меди, урана [Волков и др., 2006]. Освоение ресурсов недр требует расширения и совершенствования инфраструктурных сетей, решения проблемы утилизации промышленных отходов, в том числе радиоактивных [Тынанкергав и др., 2019]. Эффективность решения этих задач зависит от знания закономерностей формирования речного стока и изменений его при текущих глобальных преобразованиях природной среды. В наибольшей

степени эти изменения проявились в конце XX столетия – после 1980 г. [Пономарев и др., 2005; Катцов, Порфирьев, 2012; Заявление..., 2016; Стоцкунте, Василевская, 2016; Ушаков, 2017]. Изучению роли климатических преобразований в трансформации гидрологических характеристик северных рек посвящены многие работы [Tananaev et al., 2016; Lamontagne-Hallé et al., 2018; Makarieva et al., 2019]. Однако особенности климатических изменений стока заполярных рек до сих пор не изучены. Авторам не удалось найти публикации по данной проблеме ни в России, ни за ее пределами. Поэтому данное исследование, по-видимому, носит пионерный характер.

Цель настоящей работы – изучить изменения многолетнего режима стока заполярных рек горной территории Западной Чукотки (бассейн Восточно-Сибирского моря) при современном потеплении климата.

Объектом исследования являются заполярные горные реки Западной Чукотки (бассейн Восточно-Сибирского моря), длительность гидрологических наблюдений на которых составляет не менее двух 11-летних периодов солнечной активности, что позволяет оценить речной сток до и после 1980 г. и выявить особенности его формирования. Предмет исследования – режим стока указанных рек.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В работе использованы опубликованные материалы многолетних наблюдений за речным стоком на гидрологических постах Колымского, Певекского и Чукотского управлений по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды [Многолетние данные..., 1985] и данные из гидрологических ежегодников государственного водного кадастра. Сведения о температуре воздуха и количестве осадков получены в электронной базе данных на сайте Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации – Мирового центра данных [http://meteo.ru/data]. Сведения о климатических характеристиках до 1960 г. заимствованы из справочника [Прикладной... справочник, 1960]. Изменения речного стока исследовались путем сравнения средних его характеристик, рассчитанных по рядам до 1980 г. включительно и с 1981 по 2010 г. Климатологи для расчета актуальных норм используют наблюдения за последние полных три календарных декады, поэтому авторами и был выбран период 1981–2010 гг. Оценка статистической значимости внутрирядной однородности по среднему производилась по критерию Стьюдента с уровнем значимости 5 %. Использовались также сведения о гидрометеорологических, гидрогеологических, геокриологических, геологических условиях, опубликованные в ряде монографий и статей.

Основной метод исследования – системный анализ, при котором водосборная площадь реки по замыкающему створу рассматривается как система, включающая следующие элементы: водный поток в русле; толща многолетнемерзлых пород; сезонноталый слой (СТС); подрусловые талики; блок литосферы, дренируемый рекой; ландшафт речной долины. Развитые на изучаемой территории горы и плоскогорья характеризуются неоднородным распространением атмосферных осадков, температуры воздуха и подстилающей поверхности, как по площади, так и по высотным поясам [Афанасенко и др., 1989]. В этих условиях климатические показатели, полученные на единичных метеостанциях в речных долинах и на морском побережье, позволяют только качественно оценить участие элементов водосборной площади реки в формировании речного стока и их изменения при потеплении климата. Поэтому правомерно данную проблему отнести к слабоструктурированной или даже неструктурированной, для решения которой наиболее результативно применение экспертных оценок [Анохин, 1996].

#### ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА И ПРЕДМЕТА ИССЛЕДОВАНИЙ

Реки рассматриваемой территории стали изучаться только после открытия золотоносности речных долин Чукотки в 1950-х гг. К настоящему времени в заполярной части бассейна Восточно-Сибирского моря площадью около 320 тыс. км<sup>2</sup> статистически значимые данные о стоке рек Чукотки после 1980 г. получены по девяти гидрологическим постам (табл. 1, рис. 1). Они расположены на водотоках с площадью водосбора менее 30 тыс. км<sup>2</sup>. Суммарно их площадь 64.5 тыс. км<sup>2</sup>, т. е. около 20 % всей рассматриваемой территории.

Изученные реки и ручьи – горные, с крайне неравномерным распределением стока в течение года. В мае–сентябре в реках протекает основная масса воды (94–99 %), длительность периода открытого русла 4–4.5 месяца, дождевые паводки наблюдаются обычно в конце июня – начале сентября и чередуются с обмелением в засушливый период [Ресурсы..., 1969]. В третьей декаде сентября появляются устойчивые забереги или плавающий лед на реках. В зимние месяцы, с октября по май, малые реки и ручьи полностью промерзают. Даже в крупной реке Малый Анюй в створе с. Островное (площадь водосбора 30 тыс. км<sup>2</sup>) за период наблюдений 1960–1980 гг. стока не было в 14 случаях с февраля до конца мая [Многолетние данные..., 1985]. В последующие годы в холодные периоды сток прекращался только один раз, хотя минимальные расходы сокращались до первых десятков литров в секунду. Начало разрушения ледового покрова приходится на конец мая или первые числа июня.

Таблица 1. Сведения о гидрологических постах

Номер (см. рис. 1)	Река – пункт	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Годы наблюдений за стоком	
			начало	окончание
1	Березовка – с. Березовка	15 400	1965	2010
2	Пеймына – в 1.5 км от устья	1480	1968	1994
3	Баимка – пос. Баимка	480	1963	2000
4	Малый Анюй – с. Илирней	8180	1958	1999
5	Малый Анюй – с. Островное	30 000	1960	1997
6	Мухтуя – с. Островное	23.7	1960	2006
7	Погынден – устье р. Инкуливеем	12 000	1960	Действует
8	Инкуливеем – в 2.0 км от устья	242	1960	Действует
9	Паляваам – в 0.8 км ниже устья р. Кооквын	6810	1971	1996

Примечание. По действующим постам данные взяты по 2010 г.

**Ландшафты.** В горных районах рассматриваемой территории повсеместно распространены арктические тундры и пустыни. Подстилающая поверхность в этих ландшафтах в приводораздельной зоне сложена каменистыми развалами. Граница их расположена на высоте около 800 м. Ниже, на склонах долин, развита тундра на делювиальных покровах, сложенных дресвяно-щебенчатых образованиями с мелкозернистым заполнителем. Растительный покров представлен пятнами лишайников, в днищах водотоков – низкорослыми внянками и ольховниками.

В долинах рек Березовка и Пеймына, Большой и Малый Анюй и их притоков на отметках ниже 400 м сложились ландшафты лиственничных лесотундровых редколесий и лишайниковых

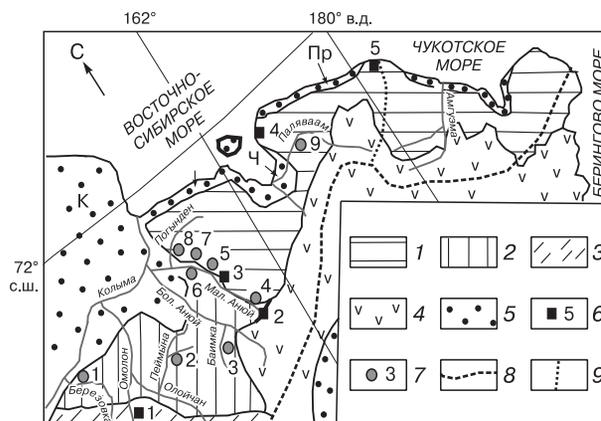


Рис. 1. Географо-геологическая схема заполярной части Западной Чукотки:

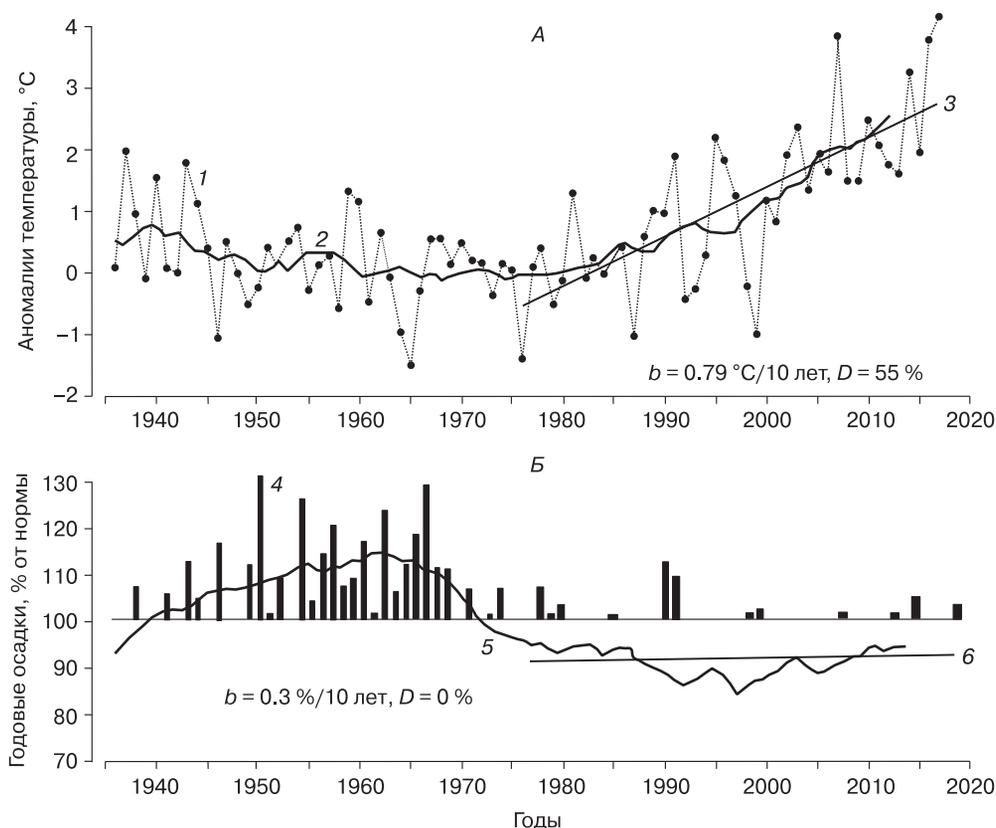
1–4 – горные территории на тектонической основе: 1 – Чукотского террейна пассивной континентальной окраины, 2 – Анюйско-Олойской системы террейнов активной окраины, 3 – Омолонского кратона, 4 – эффузивных покровов мелового возраста; 5 – низменности; К – Колымская, Ч – Чаунская, Пр – Приморская; 6 – метеопосты (номера см. табл. 2); 7 – гидрологические посты (номера см. табл. 1); 8 – главный водораздел; 9 – водораздел бассейнов рек арктических морей.

кустарничковых кедрово-стланиковых тундр [Беликович и др., 1997]. Почвенный покров маломощный на элювиально-делювиальных щебенчато-дресвяных образованиях в нижней части склонов и на гравийно-галечниковых отложениях в днищах речных долин.

**Климат** региона определяется положением его в Заполярье и близостью Северного Ледовитого океана, большая часть акватории которого покрыта льдами в течение всего года. В целом в регионе длительность холодного периода, когда среднесуточная температура воздуха ниже 0 °С, от 303 дней (с. Островное) до 316 дней (пос. Илирней). Среднегодовая температура воздуха – от –9.5 °С (г. Певек) до –11.6 °С (пос. Илирней). Количество осадков до 266 мм (табл. 2).

Таблица 2. Среднегодовые значения температуры воздуха (Т, °С) и количества осадков (мм) на Западной Чукотке

Номер (см. рис. 1)	Метеостанция	Координаты	Абс. отметка, м	Период наблюдений	До 1960 г.		1961–1980 гг.		1981–2019 гг.	
					Т	Осадки	Т	Осадки	Т	Осадки
1	Пос. Омолон	65°14' с.ш., 160°32' в.д.	260	1944–2009	–13.2	256	–12.8	261	–11.6	252
2	Пос. Илирней	67°20' с.ш., 168°11' в.д.	426	1945–2009	–13.3	240	–12.4	264	–11.6	266
3	С. Островное	68°06' с.ш., 164°10' в.д.	98	1965–2019	–12.0	182	–11.8	227	–10.9	237
4	Г. Певек	69°43' с.ш., 170°16' в.д.	4	1940–2019	–10.1	136	–10.0	187	–9.5	221
5	Пос. Мыс Шмидта	68°55' с.ш., 178°29' з.д.	260	1932–2008	–12.1	Нет свед.	–11.9	327	–10	262



**Рис. 2. Динамика основных годовых климатических характеристик Восточного сектора арктической зоны РФ по данным Росгидрометео за 1936–2018 гг. [Государственный доклад..., 2018]:**

А – отклонения температуры воздуха от средних значений (линия 1); 2 – 11-летнее скользящее среднее; 3 – линейный тренд за 1976–2018 гг.;  $b$  – коэффициент тренда,  $^\circ\text{C}/10$  лет,  $D$  – вклад в суммарную дисперсию, %; Б – годовые суммы осадков (4) (в % от нормы за 1961–1991 гг.); 5 – 11-летнее скользящее среднее; 6 – линейный тренд за 1976–2018 гг.;  $b$  – коэффициент тренда,  $\%/10$  лет,  $D$  – вклад в суммарную дисперсию, %.

Многолетние наблюдения на метеостанциях в пределах заполярной части бассейна Восточно-Сибирского моря (Островное, Илирней, Певек) и за его границей (Омолон, Мыс Шмидта) показывают, что за последние 60 лет потепление наиболее значимо проявилось в 1980-е и последующие годы. Аналогично изменялись среднегодовые температуры воздуха по всему Восточному арктическому сектору (рис. 2, А) [Государственный доклад..., 2018]. Однако тенденция увеличения осадков отличается от аналогичной во всей арктической зоне России. В последней рост осадков (2.6 % от нормы за 10 лет) происходит с 1976 г. В восточном же секторе Арктики рост количества

осадков наблюдался только после 1995 г. (см. рис. 2, Б). Уменьшилось количество осадков в холодное время года, что отмечено на внутриконтинентальных метеостанциях (табл. 3) [Там же]. Причины глобальных климатических трансформаций не установлены. Возможно, они вызваны планетарными изменениями океанических течений в 1975 г., обусловленными тектоническими движениями дна океана [Harris, 2002].

Испарение, в том числе эвапотранспирацию, на Западной Чукотке не изучали. Единственная работа по этой проблеме – расчет водного баланса в водосборе руч. Цирковый в верховье р. Малый Анюй, выполненный И.М. Паперновым [1965]. Однако количество атмосферных осадков, температура воздуха, речной сток не измерялись, а рассчитаны им по высотным поясам в 100 м каждый на основе принятой автором зависимости их от высоты местности. Величины испарения и конденсации приведены с учетом результатов работы Колымской водно-балансовой станции (КВБС) [Там же]. Поэтому для ориентировочной оценки величины испарения авторы также вынуждены

**Таблица 3. Количество осадков (мм) за холодный период года (октябрь–май) по материалам Колымского управления гидрометеослужбы**

Метеостанция	До 1980 г.	1981–2010 гг.
Омолон	127	100
Островное	105	104
Мыс Шмидта	195	154

пользоваться материалами этой станции [Бояринцев и др., 1991; Сущанский и др., 2002]. В соответствии с этими материалами испарение с поверхности снежного покрова не превышает 12 мм, или 10–12 % суммы твердых осадков в заполярной Чукотке. В арктической тундре и каменистой пустыне на крупнообломочных осыпях выпадающие осадки проникают до уровня грунтовых вод, поэтому на испарение затрачивается, по-видимому, не более 5 % осадков. На склонах из-за уменьшения размеров обломочного материала и образования мелко- и тонкозернистого заполнителя величина испарения возрастает до 30–32 % от величины выпадающих жидких осадков. В долинах водотоков бассейна стока рек Большой и Малый Анюй на площади листовенного редколесья испарение с учетом эвапотранспирации достигает наибольших значений, составляющих примерно 50 % жидких осадков. Учитывая преобладающее распространение различных видов тундры, авторы оценивают испарение на данной территории в теплое время года примерно в 25 % выпадающих осадков.

**Геологическое строение.** В сложении изучаемой территории принимают участие Чукотский террейн пассивной континентальной окраины и террейны активной окраины Анюйско-Олойской системы (палеозой-мезозойских и мезозойских островных дуг и зоны субдукции) [Бялобжеский и др., 2006; Соколов и др., 2015]. Состав пород, слагающих террейны, достаточно однороден. Это в разной степени катагенетически преобразованные и метаморфизованные магматические и туфогенные терригенные толщи докембрийского, палеозойского и мезозойского возрастов. Преобладающим распространением пользуются терригенные отложения триаса. Развиты покровы нижнемеловых эффузивов и интрузии позднемеловых гранитов.

На склонах и в днищах долин горных рек развиты рыхлые образования четвертичного возраста различного генезиса: элювиальные, делювиальные, аллювиальные, ледниковые и водно-ледниковые. Мощность их в поймах составляет 5–7 м, местами увеличиваясь до 40–60 м. В межгорных впадинах и грабенах речных долин эти отложения перекрывают неогеновые конгломераты, песчаники и алевролиты. Гранулометрический состав отложений связан с их генезисом, положением в рельефе, составом выветриваемых коренных пород и геодинамической природой террейнов, в сложении которых участвуют эти породы. Так, аллювиальные отложения представлены галечниками с гравием. Содержание более мелких фракций увеличивается с глубиной до образования суглинистого цемента в их основании. Делювиальные отложения обогащаются мелкоземом от верхних участков склонов долины к подножию. Наименьшее содержание тонкозернистых и глинистых

фракций, при прочих равных условиях, отмечено на площади распространения терригенных пород, слагающих террейны пассивной континентальной окраины и разновозрастных магматических пород. Тонкозернистый и глинистый заполнитель в щебенчатых породах свойствен территориям развития террейнов активной окраины. Указанные особенности определяют фильтрационные свойства пород.

**Геокриологическая обстановка** определяется повсеместным распространением многолетнемерзлых пород, которые С.М. Фотиев [2013] рассматривал как криогенный водоупор (КВ). При разведке рудных месторождений золота и олова установлено, что мощность КВ на водоразделах достигает 450 м, под днищами водотоков 3-го и больших порядков сокращается до 70–80 м [Акименко, Акименко, 2000; Малышева и др., 2012]. Только под руслами рек существует обводненная подмерзлотная зона гипергенной трещиноватости, контуры которой соответствуют рисунку речной сети. Так как среди выявленных сквозных таликов преобладают водопоглощающие, можно предполагать, что подмерзлотные воды в речном стоке участвуют в очень ограниченном объеме и на участках, приуроченных к зонам современных активных разломов в нижних течениях рек. Во всех речных бассейнах велика роль СТС и подруслового таликов, являющихся основными элементами зоны свободного (или активного) водообмена при сплошном распространении КВ.

Сезонное оттаивание начинается в июне, подошва СТС достигает максимальной глубины в первой декаде сентября. Глубина сезонного оттаивания варьирует от 0.5–1.5 м на склонах до 2.5 м в грубодисперсных образованиях у подножия склонов, а под руслами ручьев 1–2-го порядков – до 3–5 м. При прочих равных условиях глубина протаивания в тонкодисперсных, грубообломочных отложениях и в трещиноватых коренных породах с тонкозернистым и глинистым заполнителем меньше, чем в крупнозернистых и обломочных породах. В конце сентября СТС на горных склонах практически полностью осушается или промерзает [Пономарев, 1960]. Сезонное промерзание происходит не только сверху, но и снизу, заметно превышая скорость сезонного оттаивания [Афанасенко и др., 1989]. Надмерзлотные талики, как выяснилось в последние десятилетия, развиты под руслами большинства водотоков 3-го и больших порядков. Основное и необходимое условие для их развития и существования – наличие водопроницаемых образований (гравийно-галечные, щебнистые отложения, трещиноватые горные породы) мощностью больше глубины сезонного промерзания, т. е. более 3–5 м [Толстихин, 1974; Михайлов, 2013]. Для сохранения таликов важно накопление в днище речной долины снежного по-

кровы мощностью 0,7–1,0 м и более, предохраняющего подстилающие породы от глубокого промерзания [Михайлов, 2010].

Развитые под руслами рек водоносные талики имеют наибольшую мощность (60–80 м) в пределах современных долинных грабен. Такие грабены установлены, например, в долине р. Малый Анюй в районе пос. Илirianей, в низовьях р. Большой Кепервеем, в долине р. Большой Анюй вблизи устья левого притока (р. Баимка) [Малышева и др., 2012]. Зимой при промерзании подруслового потока подобные переуглубленные участки преобразуются в криогенные бассейны, подземными водами которых питаются русловые наледи [Гидрогеология..., 1972; Алексеев и др., 2011б].

Гидрогеологические условия связаны с особенностями геологической истории дренируемых территорий [Глотов, Глотова, 2013, 2015; Глотов и др., 2018; Glotov, Glotova, 2011]. Поэтому в пределах заполярной части площади бассейна стока Восточно-Сибирского моря авторы выделяют (см. рис. 1):

– гидрогеологические массивы и адмассивы, образованные в пределах Чукотского террейна (фрагмента пассивной континентальной окраины), протягивающегося вдоль побережья Восточно-Сибирского моря;

– гидрогеологические массивы и адмассивы на основе Анюйско-Олойской системы островодужных террейнов активной окраины на водосборных площадях рек Большой и Малый Анюй, Березовка, Пегтымель.

Во всех этих районах в третьем квартале года повсеместно формируется сезонно-водоносный

слой, мощность которого контролируется глубиной сезонного протаивания.

Надмерзлотные водоносные талики в зимнее время залегают в галечниках под руслами рек и в непосредственной близости от русла на глубине 1,5–2,0 м. Уровни подземных вод с началом промерзания постоянно понижаются. На участках выклинивания аллювиальных отложений в руслах рек образуются наледи. По О.Н. Толстихину [1974], наледи являются показателями водоносности подрусловых таликов. По материалам О.Н. Толстихина, относительная наледность (отношение суммарной площади наледей к площади района их распространения, в процентах) на территории Чукотского террейна пассивной континентальной окраины равна 0,69 %, а в районе Анюйско-Олойской системы террейнов активной окраины – 0,04 %. При этом наледи здесь зафиксированы только на двух участках в верховьях рек Большой и Малый Анюй [Гидрогеология..., 1972]. В геологическом отношении эти участки отличаются распространением палеозойских карбонатных толщ.

Изложенные геологические, геокриологические и гидрогеологические особенности авторы учитывали при анализе данных многолетних наблюдений за стоком рек.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ МНОГОЛЕТНЕГО РЕЖИМА РЕЧНОГО СТОКА

Величины речного стока за два периода наблюдений (до 1980 и в 1981–2010 гг.) приведены в табл. 4. Из данных табл. 4 следует, что в большин-

Таблица 4. Средний годовой сток заполярных рек Западной Чукотки

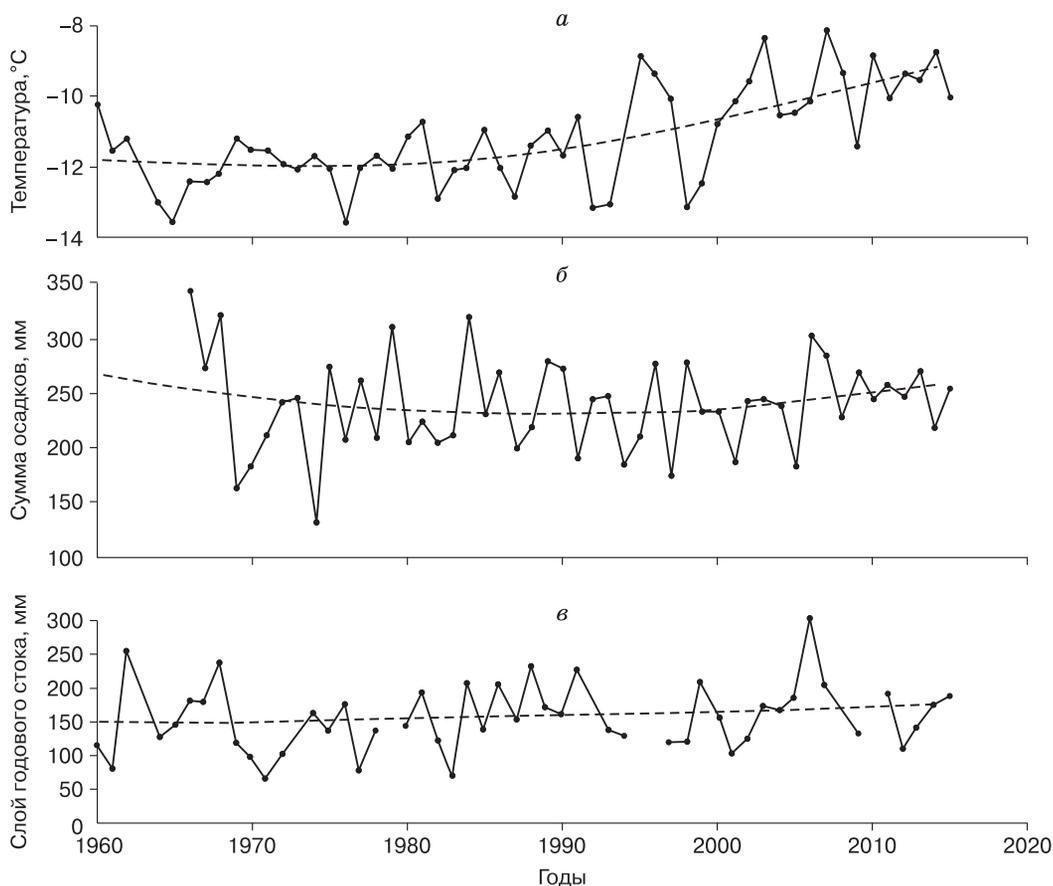
Река	Пункт	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Период наблюдений	Многолетний средний слой стока за год, мм	Прирост (+), убыль (–)	
					мм	в % к периоду до 1980 г.
Березовка	С. Березовка	15 400	1965–1980	117	+23	+20
			1981–2010	140		
Пеймына	В 1,5 км от устья	1480	1968–1980	153	–12	–10
			1981–1994	141		
Баимка	Пос. Баимка	400	1963–1980	203	+21	+10
			1981–2000	224		
Малый Анюй	С. Илirianей	8180	1958–1980	236	+3	+1
			1981–1999	239		
Малый Анюй	С. Островное	30 000	1960–1980	187	+11	+6
			1981–1997	198		
Мухтуя	С. Островное	23,7	1960–1980	213	+80	+38
			1981–2006	293		
Погынден	Устье р. Инкуливеем	12 000	1960–1980	143	+19	+13
			1981–2010	162		
Инкуливеем	В 2 км от устья	242	1960–1980	87	+25	+29
			1981–2010	112		
Паляваам	В 0,8 км ниже устья р. Кооквын	6810	1971–1980	201	–7	–3
			1981–1996	194		

стве рек наметилось увеличение среднегодового стока. В главной реке Малый Анюй это увеличение составило не более 6 %. В ее притоках сток вырос с 13.3 % (р. Погынден) до 37.6 % (руч. Мухтуя). При этом есть обратная связь прироста стока и площади водосбора. Четко выделяется группа рек со слоем стока 200 мм и более в период от начала наблюдений до 1980 г. Это – р. Малый Анюй в створе у пос. Илирней, руч. Мухтуя, реки Баимка и Паляваам. Эти же водотоки характеризуются повышенными значениями слоя стока и в период после 1981 г. Сток уменьшился в реках Пеймына и Паляваам, на которых прекратили наблюдения в 1994 и 1996 гг. соответственно. Возможно, что уменьшение общего стока связано с сокращением количества выпадающих осадков (см. рис. 2), не исключены и последствия техногенных воздействий (пожары, открытые горные работы). В настоящее время нерекультивированные долины этих рек активно зарастают травами.

Для изучения связи стока с формирующими его факторами авторы сопоставили графики многолетних колебаний среднегодовых температур воздуха, осадков и среднегодовых объемов стока

по материалам поста р. Погынден и близлежащей метеостанции – пос. Островное (рис. 3). Видно, что за последние 55 лет тренд потепления климата имеет характер устойчивого повышения температуры воздуха, что подтверждается критерием Стьюдента с уровнем значимости 5 %. Тренд среднесезонных осадков имел направленность на понижение до середины 90-х гг. XX в., хотя он статистически и незначим. Это уменьшение наиболее заметно проявилось в летние месяцы. Так, в 1982 г. в июле выпало всего 18 мм осадков, в августе того же года – 3 мм. Вместе с тем тенденция возрастания годового стока р. Погынден так же устойчива, как и температуры воздуха (см. рис. 3).

Увеличение речного стока указывает на то, что с потеплением климата в оборот все больше вовлекаются дополнительные к атмосферным осадкам источники воды. Авторы считают такими источниками в горах законсервированную в твердом виде воду в многолетних снежниках, каменных глетчерах, гольцовом льду, многолетних наледях и, возможно, погребенных повторно-жильных льдах и других видах подземных льдов, т. е. криогенный ресурс планеты, по В.Р. Алексееву



**Рис. 3.** Временной ход среднегодовой температуры воздуха (а), суммы атмосферных осадков за год (б) на метеостанции Островное и среднегодовых расходов воды на р. Погынден, устье р. Инкуливеем (в).

Штриховые – линии тренда.

[2012]. Считаем, что в данном случае более уместен термин “гидрокриогенный резерв” (ГКР). Вероятно, одним из наиболее значимых источников воды могут быть каменные глетчеры. Широкое распространение их у подножий горных склонов на Чукотке впервые показано А.А. Галаниным [2009], который отметил их возможное участие в формировании водного стока. Следует обратить внимание на масштабность ГКР в верхнеплейстоценовых ледниковых и водно-ледниковых отложениях, выполняющих в горах большинство долин водотоков, грабен-долины и межгорные котловины. Они отличаются очень высокой льдистостью (до 72,0–80,7 %) при среднем значении коэффициента пористости 1,42, т. е. отложения распуcaются льдом [Синицкая и др., 1977]. Авторы допускают, что наибольшее увеличение слоя стока при потеплении климата, отмеченное в боковых притоках р. Малый Анюй, вызвано тем, что в данном случае участие ГКР в питании водотоков в наибольшей мере проявляется в долинах начальных порядков.

Стокоформирующая роль оттаивания одного из объектов ГКР – гольцового льда в СТС – впервые выявлена В.Р. Алексеевым и Е.А. Бояринцевым на площади КВБС. Исследователи обратили внимание на возможность восполнения ресурсов гольцового льда при временных похолоданиях климата [Алексеев и др., 2011а]. В целом участие ГКР в формировании водного стока при текущем потеплении климата изучено слабо, но его важная роль в формировании современного водного стока достаточно заметна. На основе материалов многолетних работ КВБС было установлено, что при сумме температур воздуха в теплый период года

более 700 °С сток возрастает на 20–50 мм за счет таяния гольцового льда [Там же]. При уменьшении этой суммы ниже граничной величины происходит криогенное накопление воды. Этот процесс, возможно, свойствен и другим элементам ГКР до той температурной грани, при которой глубина сезонного оттаивания будет превосходить глубину сезонного промерзания. Переход этой грани будет означать безвозвратную потерю ГКР. В настоящее время для экспертной оценки доли ГКР в речном стоке можно принять ее равной доле питания горных водотоков гольцовым льдом (20–50 мм).

Поскольку заполярные реки характеризуются стоком преимущественно в период открытого русла, представляют интерес многолетние изменения стока, приходящиеся на третий квартал года (июль–сентябрь) (табл. 5). В третьем квартале, когда в формировании речного стока участвуют практически все элементы зоны активного водообмена, сток за период наблюдений после 1981 г. вырос на шести створах.

Вместе с тем в ряде водотоков происходило многолетнее уменьшение стока. Это выявлено в створах рек, в которых замечено сокращение среднегодового объема стока – Пеймына и Паляваам. Однако сток понизился в теплый период года и в р. Малый Анюй в створе “пос. Островной”. Допускаем, что для первых двух рек прекращение наблюдений в середине 1990-х гг. позволяет увязать уменьшение расходов воды в теплое время года с понижением количества выпадающих осадков без компенсации их талыми водами ГКР. Тем не менее не исключено, что понижение расходов воды в рассматриваемых реках произошло за счет возрастания потерь воды на эвапотранспирацию из-за

Таблица 5. Данные о речном стоке в третьем квартале (июль–сентябрь)

Река	Пункт	Площадь водосбора, км <sup>2</sup>	Период наблюдений	Слой стока, мм	Мин. сток за 30 сут в летнюю межень, мм
Березовка	С. Березовка	15 400	1965–1980	35	3
			1981–2010	46	4
Пеймына	В 1,5 км от устья	1480	1968–1980	64	6
			1981–1994	51	8
Баимка	Пос. Баимка	400	1963–1980	96	12
			1981–2000	108	12
Малый Анюй	С. Илирней	8180	1958–1980	100	20
			1981–1999	102	19
Малый Анюй	С. Островное	30 000	1960–1980	83	14
			1981–1997	81	14
Мухтуя	С. Островное	23,7	1960–1980	111	14
			1981–2006	168	22
Погынден	Устье р. Инкуливеем	12 000	1960–1980	50	8
			1981–2010	70	11
Инкуливеем	В 2 км от устья	242	1960–1980	10	1
			1981–2010	21	2
Паляваам	В 0,8 км ниже устья р. Кооквын	6810	1971–1980	115	28
			1981–1996	111	23

интенсификации роста трав и мхов на склонах и в днищах долин водотоков при потеплении климата.

Наибольшие значения слоя стока (более 100 мм) за июль–сентябрь за все годы наблюдений отмечены в створах руч. Мухтуя, рек Малый Анюй (у поселков Илirianей и Островное) и Баимка. В р. Паляваам этот показатель за период 1981–1996 гг. понизился относительно предшествующего со 115 до 111 мм, но оставался наиболее значимым в сравнении с другими реками. Заметим, что в этом квартале минимальный 30-суточный период открытого русла в заполярных реках приходится обычно на вторую половину августа–сентябрь [Многолетние данные..., 1985]. В это время таяние льдов ГКР в горах значительно сокращается или прекращается. Питание рек осуществляется в основном за счет подземных вод надмерзлотных таликов, поэтому увеличение стока в большей части водотоков свидетельствует о росте их объема. Уменьшение минимального стока в 30-суточный меженьный период в реках Паляваам, Малый Анюй у сел Илirianей и Баимка, когда потери воды на испарение происходят только в узком пойменном пространстве, может быть вызвано потерей стока на обходную фильтрацию по новообразованным таликам. Образование последних возможно не только при потеплении климата, но и при открытых горных работах в речных долинах, что сопровождается формированием многочисленных искусственных водоемов. На водосборной площади р. Паляваам добыча россыпного золота продолжалась не менее 40 лет, а в долине р. Баимка выше гидрометрического створа идет до сих пор. Около 10 лет назад здесь начаты широкомасштабные подготовительные работы к эксплуатации золото-медного рудного месторождения Песчанка – крупнейшего в мире по запасам меди. Полагаем, что геолого-геоморфологические последствия всех этих работ отразились на мерзлотно-гидрогеологической ситуации.

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Повышение температуры воздуха в Восточном секторе арктической зоны России до середины 1990-х гг. сопровождалось уменьшением количества атмосферных осадков [Государственный доклад..., 2018]. Это соответствует данным метеостанции Островное в среднем течении р. Малый Анюй. Однако на реках с длительностью гидрометрических наблюдений до конца 1990-х–начала 2000-х гг. отмечена тенденция увеличения среднегодового стока и в третьем квартале года. Поэтому авторы делают вывод, что при потеплении климата, проявившемся в повышении среднегодовой температуры воздуха до середины 1990-х гг., активизировалось таяние многолетних снежников и льдов ГКР в результате заглублиения подошвы СТС [Константинов и др., 2006]. Талые воды из

этого резерва вовлеклись в процесс формирования водного стока. Годовой слой стока после 1980 г. возрастает у большинства водотоков, кроме рек Паляваам и Пеймына, на водосборных площадях которых объема ГКР, видимо, недостаточно для компенсации дефицита осадков. Не исключено, что на сокращение объема подземных льдов и многолетних снежников повлияла 40–50-летняя деятельность людей по добыче россыпного золота, возможны и иные причины. Закономерности площадного распределения подземных льдов и многолетних снежников в горных районах заполярной Чукотки предстоит изучить.

Следует обратить внимание на то, что показатели речного стока в третьем квартале года контролируются физико-географическими и геологическими условиями. При протаивании СТС до глубины 15–20 см, т. е. уже в первой декаде июля, поверхностный склоновый сток полностью трансформируется в грунтовый, даже при обильных и затяжных дождях [Кузнецов, Насыбулин, 1970]. Фактически в третьем квартале реки в криолитозоне питаются подземными водами СТС. Источником воды в этом слое, как и в подрусовых таликах, являются не только выпадающие дожди, но и талые воды ГКР. В 30-суточный период минимального стока основным источником питания служат водоносные талики. В свою очередь, емкостные и фильтрационные свойства СТС и таликов определяются геодинамической природой дренируемых террейнов. Оптимальные условия для накопления и фильтрации воды создаются при выветривании пород, слагающих террейны кратонные и пассивных континентальных окраин, и карбонатных пород на террейнах активных окраин. Этим объясняется то, что среди заполярных рек Западной Чукотки среднегодовой слой стока более 190 мм имеют водотоки, дренирующие Чукотский террейн пассивной континентальной окраины (р. Паляваам) и островодужные террейны активной окраины, в основаниях которых имеются карбонатные толщи (верховье рек Малый Анюй, Баимка, руч. Мухтуя). Эти же водотоки в третьем квартале и в 30-суточный период минимального летнего стока обладают наиболее высокими показателями речного стока и относительной наледности.

### ВЫВОДЫ

Результаты изучения многолетних изменений стока заполярных рек Западной Чукотки (бассейн Восточно-Сибирского моря) позволили выявить следующие гидрологические особенности.

1. Современное потепление климата сопровождается увеличением речного стока большинства рек. Это связано не только с увеличением количества атмосферных осадков, но и с повышением среднегодовых температур воздуха. Последнее

приводит к стаиванию накопленных в предшествующие годы многолетних снежников и вытаиванию подземных льдов в отложениях ледникового комплекса, в каменных глетчерах, гольцового льда в кровле мерзлых толщ и других составляющих гидрокриогенного резерва в горных арктических районах.

Вместе с тем выделяются реки, водный сток в которых при потеплении уменьшился в целом за год и в отдельные фазы режима. Предположительно, это связано с уничтожением части гидрокриогенного резерва при добыче россыпного золота, возможно, с активизацией процессов испарения воды при многолетнем повышении температуры воздуха.

2. Отмечена связь характеристик речного стока с геодинамической природой дренируемых террейнов и наличием карбонатных пород в составе слагающих их толщ.

3. Обоснована необходимость изучения закономерностей распространения многолетних снежников, каменных глетчеров и других элементов гидрокриогенного резерва воды и возможной его связи с геодинамической природой террейнов.

*Авторы выражают благодарность рецензентам, критические замечания которых позволили улучшить содержание статьи, членам редакционной группы журнала за высокий профессионализм в работе, а также с.н.с. Глотовой Л.П., оказавшей существенную помощь при выполнении данного исследования.*

*Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 18-05-60036).*

## Литература

- Акименко Г.М., Акименко А.В. Государственная геологическая карта Российской Федерации масштаба 1:200 000, лист R-58-XXXV-XXXVI. 2-е изд. Объяснит. записка. С.-Петербург, ВСЕГЕИ, 2000, 198 с.
- Алексеев В.Р. Талые воды – криогенный ресурс планеты // География и природ. ресурсы, 2012, № 1, с. 24–31.
- Алексеев В.Р., Бояринцев Е.Л., Гопченко Е.Д. и др. Механизмы криогенного регулирования стока в формировании водного баланса малых горных рек зоны многолетнемерзлых пород // Укр. гидрометеорол. журн., 2011, № 8, с. 182–194.
- Алексеев В.Р., Горин В.В., Котов С.В. Наледи – тарыны Северной Чукотки // Лед и снег, 2011б, т. 51, № 4, с. 83–85.
- Анохин А.Н. Методы экспертных оценок. Учеб. пособие. Обнинск, Ин-т атомной энергетики, 1996, 148 с.
- Афанасенко В.Е., Замолотчикова С.А., Тишин М.И., Зуев И.А. Северо-Чукотский регион // Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток. М., Недра, 1989, с. 280–292.
- Беликович А.В. Природа и ресурсы Чукотки / А.В. Беликович, А.В. Галанин, А.А. Галанин и др. Магадан, СВНЦ ДВО РАН, 1997, 236 с.
- Бояринцев Е.Л., Гопченко Е.Д., Сербов И.Г. и др. Экспериментальные исследования испарения с поверхности су-

ши в условиях незначительного протаивания в деятельном слое. М., 1991, 10 с. Деп. в ИЦ ВНИИ ГМИ-ДИД 16.01.91, № 1046.

Бялобжеский С.Г., Горячев Н.А., Шпикерман В.М. Кратоны и орогенные пояса Востока России // Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. Владивосток, Дальнаука, 2006, кн. 1, с. 144–152.

Волков А.В. Месторождения золота и серебра Чукотки / А.В. Волков, В.И. Гончаров, А.А. Сидоров. Магадан, СВКНИИ ДВО РАН, 2006, 221 с.

Галанин А.А. Каменные глетчеры северо-востока Азии: картографирование и географический анализ // Криосфера Земли, 2009, т. XIII, № 4, с. 49–61.

Гидрогеология СССР. Т. 26. Северо-Восток СССР / Ред. О.Н. Толстихин. М., Недра, 1972, 297 с.

Глотов В.Е., Глотова Л.П. Связь фундамента Охотско-Чукотского вулканоплутонического пояса с водными ресурсами зоны активного водообмена // Вестн. Сев.-Вост. науч. центра ДВО РАН, 2013, № 4, с. 67–75.

Глотов В.Е., Глотова Л.П. Гидрогеология зоны активного водообмена на арктическом побережье Севера Дальнего Востока // Вестн. Сев.-Вост. науч. центра ДВО РАН, 2015, № 1, с. 28–36.

Глотов В.Е., Глотова Л.П., Ушаков М.В. Связь стока горных рек с особенностями геологической истории дренируемых террейнов // Геоэкология. Инж. геология. Гидрогеология. Геокриология, 2018, № 4, с. 14–26.

Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году. Гл. 12. Арктическая зона Российской Федерации. М., Мин. природы России, 2018, с. 683–725.

Заявление ВМО о состоянии глобального климата в 2015 году. ВМО № 1167. Женева, Publications Board World Meteorological Organization, 2016, 26 с.

Катцов В.М., Порфирьев Б.Н. Климатические изменения в Арктике: последствия для окружающей среды и экономики // Арктика: экология и экономика, 2012, № 2 (6), с. 66–79.

Константинов П.Я., Аргунов Р.Н., Герасимов Е.Ю., Угаров И.С. О связи глубины сезонного протаивания с межгодовой изменчивостью средней годовой температуры грунтов // Криосфера Земли, 2006, т. X, № 3, с. 15–22.

Кузнецов А.С., Насыбулин Ш.С. Особенности формирования стока на реках верхней Колымы // Сб. работ Магадан. гидрометеорол. обсерватории. Магадан, 1970, вып. 5, с. 52–65.

Мальшева Г.И., Исаева Е.П., Тихомиров Ю.Б. Государственная геологическая карта РФ. Масштаб 1:1 000 000 (третье поколение). Лист Q-59. Объяснит. записка. СПб., ВСЕГЕИ, 2012, 226 с.

Михайлов В.М. Разнообразие таликов речных долин и их систематизация // Криосфера Земли, 2010, т. XIV, № 3, с. 43–51.

Михайлов В.М. Пойменные талики Северо-Востока России. Новосибирск, Акад. изд-во “Гео”, 2013, 244 с.

Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Л., Гидрометеоиздат, 1985, т. I, вып. 17, 429 с.

Папернов И.М. Расчет и распределение осадков в бассейне Малого Аноя // Тр. Магадан. гидрометеорол. обсерватории. Л., Гидрометеоиздат, 1965, вып. 1, с. 41–58.

Пономарев В.И., Каплуненко Д.Д., Крохин В.В. Тенденции изменений климата во второй половине XX века в Северо-Восточной Азии, на Аляске и северо-западе Тихого океана // Метеорология и гидрология, 2005, № 2, с. 15–26.

- Пономарев В.М.** Подземные воды территории с мощной толщей многолетнемерзлых горных пород. М., Изд-во АН СССР, 1960, 200 с.
- Прикладной** климатологический справочник Северо-Востока СССР / Под ред. Н.К. Клокина. Магадан, 1960, 427 с.
- Ресурсы** поверхностных вод СССР. Т. 19. Северо-Восток. Л., Гидрометеиздат, 1969, 282 с.
- Синицкая В.М., Сабельников А.В., Ефимова Д.В.** Аннойско-Чукотский регион // Инженерная геология СССР. Т. 4. Дальний Восток. М., Изд-во Моск. ун-та, 1977, с. 157–178.
- Соколов С.Д., Тучков М.И., Ганелин А.В. и др.** Тектоника Южно-Анной структуры (Северо-Восток Азии) // Геотектоника, 2015, № 1, с. 5–30.
- Стоцкунте Ю.В., Василевская Л.Н.** Многолетние изменения температуры воздуха и почвы на Крайнем Северо-Востоке России // Геогр. вестн., 2016, № 2 (37), с. 84–96.
- Сушанский С.И., Глотов В.Е., Глотова Л.П.** Многолетние, сезонные и суточные изменения стокоформирующих факторов и общего водного стока руч. Контактный // Факторы формирования общего стока малых горных рек в Субарктике (по материалам Колымской водно-балансовой станции). Магадан, СВКНИИ ДВО РАН, 2002, с. 35–58.
- Толстикхин О.Н.** Наледи и подземные воды Северо-Востока СССР. Новосибирск, Наука, 1974, 162 с.
- Тынанкергав Г.А., Ямпольский В., Гаврилин Д.А.** Чукотка – Развитие – Новые горизонты // Глобус. Геология и бизнес, 2019, № 1 (1955), с. 32–46.
- Ушаков М.В.** Современные изменения термического режима вегетационного и зимнего периодов на Чукотке // Геогр. вестн., 2017, № 2 (41), с. 81–90.
- Фотиев С.М.** Подземные воды криогенной области России (классификация) // Криосфера Земли, 2013, т. XVII, № 2, с. 41–59.
- Glotov V.E., Glotova L.P.** Terrain tectonics in the formation of the groundwater runoff in the active water-exchange zone of Mountainous River valleys in the cryolithzone // Russ. J. Pacific Geology, 2011, vol. 5, No. 5, p. 458–468.
- Harris S.A.** Global heat budget, plate tectonics and climatic change // Geografiska Annaler, 2002, vol. 84A, p. 1–10.
- Lamontagne-Hallé P., McKenzie J.M., Kurylyk B.L., Zipper S.C.** Changing groundwater discharge dynamics in permafrost regions // Environ. Res. Lett., 2018, vol. 13, No. 8, p. 1–12.
- Makarieva O., Shikhov A., Nesterova N., Ostashov A.** Historical and recent auffs in the Indigirka River basin (Russia) // Earth Syst. Sci. Data, 2019, No. 11, p. 409–420, DOI: 10.5194/essd-11-409-2019.
- Tananaev N.I., Makarieva O.M., Lebedeva L.S.** Trends in annual and extreme flows in the Lena River basin, Northern Eurasia // Geophys. Res. Lett., 2016, vol. 43 (20), p. 10764–10772, DOI: 10.1002/2016GL070796.
- URL:** <http://meteo.ru/data> (дата обращения: 12.01.2018).
- References**
- Akimenko G.M., Akimenko A.V. State geological map of the Russian Federation, scale 1:200 000, sheet R-58-XXXV-XXXVI. 2nd ed. Explanatory note. St. Petersburg, VSEGEI, 2000, 198 p.
- Alekseev V.R. Melt water as the cryogenic resource of the planet. Geografiya i prirodnye resursy [Geography and Natural Resources], 2012, No. 1, p. 24–31 (in Russian).
- Alekseev V.R., Boyarintsev E.A., Gopchenko E.D., Serbov N.G., Zavalij N.V. Mechanisms of cryogenic flow regulation in the formation of the water balance of small mountain rivers in the permafrost zone. Ukrainskiy gidrometeorologicheskij zhurnal [Ukraine Hydrometeorological Journal], 2011b, No. 8, p. 182–194 (in Russian).
- Alekseev V.R., Gorin V.V., Kotov S.V. Naled – taryns of Northern Chukotka. Led i Sneg [Ice and Snow], 2011a, No. 4, p. 83–85 (in Russian).
- Anokhin A.N. Metody ekspertykh otsenok [Methods of Expert Judgment]. Tutorial. Obninsk, Institute of Atomic Energy, 1996, 148 p. (in Russian).
- Afanasenko V.E., Zamolotchikova S.A., Tishin M.I., Zuev I.A. North Chukotka region. In: Geocryology of the USSR. Eastern Siberia and the Far East. Moscow, Nedra, 1989, p. 280–292 (in Russian).
- Belikovich A.V., Galanin A.V., Galanin A.A. et al. Priroda i resursy Chukotki [Nature and Resources of Chukotka]. Magadan, SVNC DVO RAN (Northeast Scientific Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences), 1997, 236 p. (in Russian).
- Boyarintsev E.L., Gopchenko E.D., Serbov I.G. et al. Experimental studies of evaporation from the land surface in conditions of slight thawing in the active layer. 10 sec. Dep. in the Research Center of the All-Russian Research Institute of GMI-DID 01.16.91, No. 1046 (in Russian).
- Byalobzheskiy S.G., Goryachev N.A., Shpikerman V.M. Kratons and orogenic belts of the East of Russia. In: Geodinamika, magmatizm i metallogeniya Vostoka Rossii [Geodynamics, magmatism and metallogeny of the East of Russia]. Vladivostok, Dal'nauka, 2006, Book 1, p. 144–152 (in Russian).
- Volkov A.V., Goncharov V.I., Sidorov A.A. Mestorozhdeniya zolota i serebra Chukotki [Gold and Silver Deposits of Chukotka]. Magadan, SVKNII DVO RAN (NEISRI FEB RAS), 2006, 221 p. (in Russian).
- Galanin A.A. Rock glaciers of the North-Eastern Asia: mapping and geographical analysis. Kriosfera Zemli [Earth's Cryosphere], 2009, vol. XIII, No. 4, p. 49–61 (in Russian).
- Tolstikhin O.N. (Ed.). Hydrogeology of the USSR, vol. 26. Northeast of the USSR. Moscow, Nedra, 1972, 297 p. (in Russian).
- Glotov V.E., Glotova L.P. The relationship between the foundation of the Okhotsk-Chukotka volcano-plutonic belt and the water resources of the active water exchange zone. Vestnik SVKNII DVO RAN [Bulletin NEISRI FEB RAS], 2013, No. 4, p. 67–75 (in Russian).
- Glotov V.E., Glotova L.P. Hydrogeology of the zone of active water exchange on the Arctic coast of the North of the Far East. Vestnik SVKNII DVO RAN [Bulletin of the Northeast Scientific Center of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences], 2015, No. 1, p. 28–36 (in Russian).
- Glotov V.E., Glotova L.P., Ushakov M.V. The relationship of mountain river runoff with the geological history of drained terranes. Geoekologiya, Inzhenernaya geologiya. Hidrogeologiya. Geokriologiya [Geoecology, Engineering Geology. Hydrogeology. Geocryology], 2018, No. 4, p. 14–26 (in Russian).
- State report on the state and environmental protection of the Russian Federation in 2017. Chapter 12. Arctic zone of the Russian Federation. Moscow, Min. Prirody Rossii, 2018, p. 683–725. – URL: [nangs.org/analytikos/minprirody-rossii-gosudarstvennyj-doklad-o-soswtoyani-i-ob-okhran-okruzhnyushchej-srede-rossiyskoi-federacii-pdf](http://nangs.org/analytikos/minprirody-rossii-gosudarstvennyj-doklad-o-soswtoyani-i-ob-okhran-okruzhnyushchej-srede-rossiyskoi-federacii-pdf)
- WMO statement on the status of the global climate in 2015. WMO-No. 1167. Geneva, Publications Board World Meteorological Organization, 2016, 26 p. (in Russian).

- Katzov V.M., Porfir'ev B.N. Climate change in the Arctic: implications for the environment and the economy. *Arktika: ekologiya i ekonomika* [Arctic: Ecology and Economics], 2012, No. 2 (6), p. 66–79 (in Russian).
- Konstantinov P.Ya., Argunov R.N., Gerasimov E.Yu., Ugárov I.S. On the relationship between seasonal thaw depth and interannual variation of mean annual ground temperature. *Kriosfera Zemli* [Earth's Cryosphere], 2006, vol. X, No. 3, p. 15–22 (in Russian).
- Kuznetsov A.S., Nasybulin Sh.S. Features of runoff formation on the Upper Kolyma rivers. In: Collection of works of the Magadan Hydrometeorological Observatory. Magadan, 1970, iss. 5, p. 52–65 (in Russian).
- Malysheva G.I., Isaeva E.P., Tikhomirov Yu.B. The State Geological Map of the Russian Federation. Scale 1:1,000,000 (3rd edition). Sheet Q-59. Explanatory note. St. Petersburg, VSEGEI, 2012, 226 p. (in Russian).
- Mikhaylov V.M. Diversity and systematization of taliks in river valleys. *Kriosfera Zemli* [Earth's Cryosphere], 2010, vol. XIV, No. 3, p. 43–51 (in Russian).
- Mikhaylov V.M. Poimennye taliki Severo-Vostoka Rossii [Floodplain Taliks of the North-East of Russia]. Novosibirsk, Acad. Publishing House Geo, 2013, 244 p. (in Russian).
- Long-term data on the regime and resources of land surface water. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1985, vol. I, iss. 17, 429 p. (in Russian).
- Papernov I.M. Calculation and distribution of precipitation in the basin of Malyi Anyui. In: Collection of works of the Magadan Hydrometeorological Observatory. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1965, iss. 1, p. 41–58 (in Russian).
- Ponomarev V.I., Kaplunenko D.D., Krohin V.V. Climate change trends in the second half of the twentieth century in Northeast Asia, Alaska and the Northwestern Pacific Ocean. *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and Hydrology], 2005, No. 2, p. 15–26 (in Russian).
- Ponomarev V.M. Podzemnye vody territorii s moshchnoi tolshchei mnogoletnemerzlykh gornykh porod [Groundwater of a Territory with a Thick Stratum of Permafrost]. Moscow, Izd-vo AN SSSR, 1960, 200 p. (in Russian).
- Klyukin N.K. (Ed.). Applied climatological guide of the North-East of the USSR. Magadan, 1960, 427 p. (in Russian).
- Surface Water Resources of the USSR. Vol. 19. North-East. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1969, 282 p. (in Russian).
- Sinitskaya V.M., Sabel'nikov A.V., Yefimova D.V. Anyuysko-Chukotskiy region. In: *Inzhenernaya geologiya SSSR* [Engineering Geology of USSR]. Vol. 4. Dal'niy Vostok. Moscow, Moscow University Press, 1977, p. 157–178 (in Russian).
- Sokolov S.D., Tuchkov M.I., Ganelin A.V. et al. Tectonics of the South Anyui structure (North-East Asia). *Geotektonika* [Geotectonics], 2015, No. 1, p. 5–30 (in Russian).
- Stochkute Yu.V., Vasilevskaya L.N. Long-term changes in air and soil temperature in the Far North-East of Russia. *Geograficheskiy Vestnik* [Geographical Bulletin], 2016, No. 2 (37), p. 84–96 (in Russian).
- Sushchansky S.I., Glotov V.E., Glotova L.P. Long-term, seasonal and diurnal changes in the drainage factors and the total water flow of the stream Kontaktoviyi. In: Factors of formation of the total runoff of small mountain rivers in the Subarctic (based on materials from the Kolyma water-balance station). Magadan, NECS FEB RAS, 2002, p. 35–58 (in Russian).
- Tolstikhin O.N. Icings and Groundwater of the North-East of the USSR. Novosibirsk, Nauka, 1974, 162 p. (in Russian).
- Tynankergav G.A., Yampol'skiy V., Gavrilin D.A. Chukotka – Development – New Horizons. *Globus. Geologiya i biznes* [Globe. Geology and Business], 2019, No. 1 (1955), p. 32–46 (in Russian).
- Ushakov M.V. Modern changes in the thermal regime of the vegetation and winter periods in Chukotka. *Geograficheskiy vestnik* [Geographical Bulletin], 2017, No. 2 (41), p. 81–90 (in Russian).
- Fotiev S.M. Underground waters of cryogenic area of Russia (classification). *Kriosfera Zemli* [Earth's Cryosphere], 2013, vol. XVII, No. 2, p. 41–59 (in Russian).
- Glotov V.E., Glotova L.P. Terrain tectonics in the formation of the groundwater runoff in the active water-exchange zone of Mountainous River valleys in the cryolithzone. *Russ. J. Pacific Geology*, 2011, vol. 5, No. 5, p. 458–468.
- Harris S.A. Global heat budget, plate tectonics and climatic change. *Geografiska Annaler*, 2002, vol. 84A, p. 1–10.
- Lamontagne-Hallé P., McKenzie J.M., Kurylyk B.L., Zipper S.C. Changing groundwater discharge dynamics in permafrost regions. *IOP Publishing Ltd, 20. Environ. Res. Lett.*, 2018, vol. 13, No. 8, p. 1–12.
- Makarieva O., Shikhov A., Nesterova N., Ostashov A. Historical and recent auffs in the Indigirka River basin (Russia). *Earth Syst. Sci. Data*, 2019, No. 11, p. 409–420, DOI: 10.5194/essd-11-409-2019.
- Tananaev N.I., Makarieva O.M., Lebedeva L.S. Trends in annual and extreme flows in the Lena River basin, Northern Eurasia. *Geophys. Res. Lett.*, 2016, vol. 43 (20), DOI: 10.1002/2016GL070796.
- URL: <http://meteo.ru/data> (last visited: 12.01.2018).

*Поступила в редакцию 30 августа 2019 г.,  
после доработки – 15 июля 2020 г.,  
принята к публикации 1 августа 2020 г.*