

ПОВЕРХНОСТНЫЕ И ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ СУШИ

УДК 556.3:551.791(571.56+571.65)

DOI: 10.15372/KZ20250403

EDN: HSNNOJ

НЕОДНОРОДНОСТИ СТОКА МАЛЫХ ГОРНЫХ ВОДОТОКОВ БАСЕЙНА
ВЕРХНЕЙ КОЛЫМЫ В НАЧАЛЕ ЗИМНЕЙ МЕЖЕНИ¹

В.Е. Глотов

*Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДВО РАН,
685000, Магадан, ул. Портовая, 16, Россия**E-mail: geocol@neisri.ru*

Изложены результаты изучения закономерностей и причин неоднородностей прекращения стока в октябре – первой половине ноября в верховьях горных рек Верхней Колымы. Выявлены неоднородности трех уровней. Первый уровень связан с разнообразием геологических структур – террейнов на площади исследования. Наибольшие значения показатели стока (годовой слой, модули стока в сентябре и первом зимнем месяце – октябре) имеют на площади Вилигинского террейна, в литодинамическом комплексе которого преобладают туфогенные породы. Наименьшие значения отмечены на площади Иньяли-Дебинского террейна, где преобладают глинистые и кремнистые сланцы. Второй уровень неоднородностей выражен в длительности стока после начала зимней межени, которая меняется от нескольких до 45 дней. Это определяется различием в питании водотоков подземными водами, которое зависит от их естественных запасов и пополнения за счет таяния льда в подошве слоя нулевой завесы, формирующегося при промерзании сезонно-водоносного горизонта. Следовательно, неоднородность данного уровня является показателем водообильности прирусловых сезонно-водоносных отложений и льдистости их основания. Третий уровень неоднородностей отражает наличие или отсутствие водопоглощающего талика выше гидрометрического створа, о чем можно судить по форме гидрографа стока.

Ключевые слова: криолитозона, Верхняя Колыма, малые горные водотоки, террейны, неоднородности стока, слой нулевой завесы, зимняя межень, водопоглощающие талики.

Ссылка для цитирования: Глотов В.Е. Неоднородности стока малых горных водотоков бассейна Верхней Колымы в начале зимней межени // Криосфера Земли, 2025, т. XXIX, № 4, с. 37–49. DOI: 10.15372/KZ20250403. EDN: HSNNOJ.

HETEROGENEITY OF RUNOFF OF SMALL MOUNTAIN STREAMS
OF THE UPPER KOLYMA BASIN AT THE BEGINNING OF WINTER LOW WATER

V.E. Glotov

*Shilo Northeastern Integrated Research Institute, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences,
Portovaya St. 16, Magadan, 685000 Russia**E-mail: geocol@neisri.ru*

The article presents the results of a study of the patterns and causes of heterogeneity in the cessation of runoff in October and the first half of November in the upper reaches of the mountain rivers of the Upper Kolyma. Three levels of heterogeneity were identified. The first level is associated with the diversity of geological terranes in the study area. The highest runoff values (annual layer, runoff modules in September and in the first winter month of October) are found in the area of the Viliginsky terrane which lithodynamic complex is dominated by tuffaceous rocks. The lowest values are observed in the Inyali-Debinsky terrain, where clayey and siliceous shales prevail. The second level of heterogeneity is expressed in the duration of runoff after the onset of the winter low water period, which varies from several days to 45 days. This is determined by the recharge of groundwater due to the melting of ice at the base of the seasonally thawed layer (STL). Consequently, the heterogeneity of this level is an indicator of water saturation of seasonally aquiferous sediments near the riverbed and of the ice content of the base of the seasonal aquifer. The third level of heterogeneity reflects the presence or absence of a water-absorbing talik above the hydrometric alignment.

Keywords: permafrost zone, Upper Kolyma, small mountain streams, terrains, runoff heterogeneity, zero curtain layer, winter low water period, water-absorbing taliks.

¹ В виде исключения статья публикуется с авторским толкованием некоторых терминов, несмотря на то что редколлегия журнала его не поддерживает.

ВВЕДЕНИЕ

Верхнеколымскими малыми водотоками автор считает водотоки в узких долинах с крутыми склонами, уклоном русла более 1 %, скоростью течения более 1 м/с. Такие водотоки, чаще всего относящиеся к притокам первого–третьего порядков, являются истоками рек в составе бассейна р. Колымы по замыкающему створу “устье р. Буянда” с общей водосборной площадью около 130 тыс. км². Промышленное освоение этой территории началось в 30-е годы прошлого столетия, после открытия крупных месторождений россыпного золота. Обеспечение промышленных предприятий и населения пресной водой потребовало изучения гидрологических характеристик рек разных порядков. Научное обобщение накопленных данных отражено в ряде монографий [Левин, 1954; Ресурсы..., 1969; Многолетние данные..., 1985]. Эти и другие работы в основном касаются особенностей стока рек Северо-Востока России в теплое время года, когда температура воздуха устойчиво превышает 0 °С, а атмосферные осадки выпадают в виде дождей. В этот период, в мае–августе, таяние снега и льда разного генезиса, выпадение дождей, приток подземных вод сезонноталого слоя (СТС) и таликов обеспечивают до 89 % общего годового стока поверхностных и подземных вод, около 9 % приходится на сентябрь. Только около 2 % объема годового стока составляют подземные воды в октябре–апреле [Ресурсы..., 1969]. С учетом этого большую часть работ (добыча золота, ловля рыбы, строительство и др.) выполняют во время наибольшего водного стока.

В последние десятилетия отчетливо проявилась тенденция на круглогодичную деятельность по отработке рудных месторождений, которые залегают не только в днищах речных долин, но и на приводораздельных пространствах. Поэтому в XXI столетии возрос интерес к изучению процессов формирования стока в зимнюю межень, в том числе в истоках горных рек. Были выявлены закономерности изменения (неоднородности) зимнего стока в крупных реках [Аржакова, 2001; Глотов и др., 2020]. Новые закономерности формирования режима стока в холодное время года получены и при изучении промерзающих малых и средних водотоков, сток в которых прекращается во второй половине ноября–апреле [Глотов, Глотова, 2008; Глотов и др., 2011, 2017]. Логично считать, что режим пересыхающих водотоков, в которых сток прекращается в октябре – первой половине ноября, повсеместно контролируется водоносностью СТС, подземные воды которого питают истоки рек. Как правило, эти водотоки имеют V-образную или троговую форму долины с маломощными (до 4–5 м) рыхлыми отложениями четвертичного возраста у подножий склонов и в

руслах, а надмерзлотные подрусловые талики отсутствуют, поэтому указанная связь очевидна. При обобщении материалов замечено, что длительность стока в них от начала зимней межени весьма различается, т. е. существуют неоднородности, мало связанные с площадью водосбора. Здесь действуют иные причины, которые могут иметь значимые гидрогеологические последствия.

Цель настоящего исследования – выявить закономерности проявлений неоднородностей стока в начале зимней межени в пересыхающих горных водотоках, установить их причины. Объект исследования – основные факторы формирования поверхностного и подземного стока в период конца теплого – начала холодного (зимнего) периодов на водосборной площади бассейна верхнего течения р. Колымы (Верхней Колымы). Предмет исследования – сток малых горных водотоков в начале зимней межени.

Научная и практическая актуальность исследования определяется ее соответствием Программе фундаментальных научных исследований по направлениям 1.10.7; 1.5.11.2; 1.5.10.1 [Программа..., 2020] и стратегии развития ресурсной базы питьевых подземных вод [Боревский, Язвин, 2003].

МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Основной использовавшийся метод – системный анализ для установления связей между потоком подземных вод в речных долинах и геологическим основанием этих долин, а также с прерывистостью толщи многолетнемерзлых пород (ТММП), характеристиками слоя сезонного оттаивания и климатическими показателями.

Для решения задач гидрологического характера использован апробированный метод построения и анализа гидрографов стока. При сравнительных характеристиках гидрографов стока малых водотоков учитывались периоды, где показатели наиболее приближены к среднегодовым, по створам, по которым наблюдения проводились не менее 10 лет. Материалы для исследования взяты из работ [Ресурсы..., 1969; Многолетние данные..., 1985; Ежегодные данные..., 2004] и рукописных отчетов, хранящихся в геологических фондах, ссылки на которые приводятся в библиографическом справочнике [Глотов, Глотова, 2004], где приведены все авторы, полное название отчета, аннотированные сведения о его содержании и место хранения. По этим указателям можно запросить и получить рукопись для ознакомления с результатами полевых работ.

ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Основными факторами, определяющими сток реки, в том числе в начале зимней межени, явля-

ются климат, рельеф, многолетнемерзлая толща пород, геологическое строение.

Климат обусловлен нахождением региона в центре северо-восточного окончания Евразийского континента севернее 60° с.ш. Для него характерны низкие среднегодовые температуры воздуха (ниже 8.5 °С), длительный холодный период, в течение которого среднесуточные температуры ниже 0 °С (с октября по первую декаду мая), снежный покров со средней толщиной 0.4–0.6 м. Годовые суммы осадков находятся в пределах 300–450 мм, из них более 60 % выпадают в виде дождей. Количество осадков и температура воздуха меняются по площади территории и высоте рельефа. В целом по мере увеличения высоты повышается среднегодовая температура воздуха в низкогорье, растет количество осадков. Однако для конкретных участков, по данным многолетних наблюдений, проявляются местные особенности формирования климата. Это отчетливо прослеживается по результатам наблюдений на площади Колымской водно-балансовой станции (КВБС) в бассейне р. Кулу и пос. Омсукчан (табл. 1). Приведенные данные подтверждают сказанное, хотя осадки в целом за сентябрь практически одинаковы на обширной территории. Близки и среднемесячные многолетние температуры атмосферы за октябрь.

Согласно климатическим показателям в октябре–ноябре, сроки окончания теплого периода года и начало зимней межени связаны с абсолютной высотой водосбора реки. Градиент среднегодовой температуры составляет 0.3 °С/100 м. О происходящих климатических изменениях в бассейне можно судить по данным, приведенным в официальных документах [*Прикладной... справочник...*, 1960; *Научно-прикладной справочник...*, 2021]. В последнем издании на площади бассейна Верхней Колымы содержатся сведения о климате

только по двум пунктам – г. Сусуман и пос. Среднекан. Выяснено, что в г. Сусуман рост среднегодовой температуры воздуха произошел на 0.9 °С (от –13.7 °С за период 1937–1956 гг. до –12.5 °С за 1966–2021 гг.). В пос. Среднекан стало теплее на 1.4 °С: от –11.9 °С за период 1933–1956 гг. до –10.6 °С за 1977–2021 гг. Увеличение среднегодовых осадков в указанные промежутки времени, соответственно, на 30 мм в г. Сусуман и 50 мм в пос. Среднекан. Средняя дата наступления холодного периода года в г. Сусуман стала 23 сентября, а до 1959 г. была 21 сентября. В пос. Среднекан эта дата сдвинулась с 27 на 29 сентября. Произошедшие изменения способствуют увеличению глубины сезонного оттаивания, увеличению среднегодового речного стока, но влияния на режим формирования стока в малых горных водотоках в начале зимней межени не оказывают. Эти климатические показатели получены в речных долинах, а предмет настоящего исследования расположен в приводораздельных районах, поэтому автор использует сведения из изданий за 1960 и 1985 гг., в которых предлагается материал более обширный, чем в аналогичных трудах после 1990-х годов.

Криолитозона на изучаемой площади носит сплошной характер. Мощность ее под водоразделами – до 400 м, в речных долинах – до 120–160 м [*Гидрогеология СССР...*, 1972]. Под руслами рек и непромерзающими озерами при наличии водопроницаемых пород существуют сквозные талики. Надмерзлотные талики прослеживаются под руслами водотоков и частично захватывают поймы. Для их устойчивого существования важным условием является не только порядок водотока, но и мощность водопроницаемых пород, которая должна превышать мощность слоя сезонного промерзания (максимальное значение последней 5 м) [*Шепелев, 2011*]. При меньших мощностях приповерхностных отложений образуется сезонноталый

Таблица 1. Климатические показатели метеостанций на разных высотных отметках [*Прикладной... справочник...*, 1960; *Научно-прикладной справочник...*, 2021]

Метеостанция	Сев. широта	Абс. отметка, м	Период наблюдений	Климатические показатели						
				Осадки, мм		Даты перехода температур ниже предела			Температура воздуха, °С	
				Среднегодовые	Средне-много-летние в сентябре	0 °С	–5 °С	–10 °С	Средне-годовая	Средне-много-летняя в октябре
КВБС, Стоковая Верхняя	61°52'	1220	1948–1957	340	37	15/IX	28/IX	20/X	–11.4	–9.3
КВБС, Стоковая Нижняя	61°52'	838	1948–1957	324	38	18/IX	3/X	15/X	–12.7	–10.4
Омсукчан, Сопка	62°34'	803	1945–1956	319	38	24/IX	6/X	17/X	–10.5	–9.7
Омсукчан, поселок	62°34'	542	1941–1956	293	31	29/IX	8/X	16/X	–11.5	–10.1

Примечание. КВБС – Колымская водно-балансовая станция в бассейне р. Кулу.

слой. Замечена связь СТС с составом пород в зоне гипергенеза на водоразделах и склонах. Как правило, магматические (вулканогенные и интрузивные) и карбонатные породы в зоне гипергенеза представлены крупными обломками, глыбами с дресвяным заполнителем, для которых характерна максимальная мощность СТС. На терригенных толщах осадочных пород в зоне выветривания образовались щебнисто-дресвяные отложения с песчаным, супесчаным или суглинистым заполнителем. Мощность СТС здесь от 1.2 до 1.7 м. На заболоченных участках мощность СТС не более 0.5–0.7 м. Льдистость мерзлых пород вблизи подошвы СТС соответствует их открытой пористости и изменяется от 25 до 45 %, в трещиноватых породах в зонах тектонических разломов она возрастает до 75 % [Синицкая и др., 1977]. Встречаются жилы льда мощностью до 3 м. Одну из них исследователи В.Е. Глов, В.И. Кузнецов [Глов, Глова, 2004] наблюдали в августе 1962 г. в верховье руч. Бурхала у подножия левобережного склона в поисково-разведочной канаве. Прослеженная длина жилы около 4 м, ее поверхность залегала в трещиноватых гранитах на глубине 1 м. При сезонном оттаивании до 1.5 м исследователи допускали, что верхняя часть жилы высотой примерно 0.5 м ежегодно оттаивает, затем при таянии снега восполняет свой объем.

Рельеф верхнеколымской водосборной площади преимущественно низкогорный. По А.П. Васьяковскому [Геология СССР..., 1970], здесь выделяются Верхнеколымское и Среднеканское низкогорья, обрамленные средне- и высокогорными хребтами системы Черского, Омсукчанским, Сарычева. Средне- и высокогорные хребты резко расчленены, присутствуют многочисленные следы ледниковой деятельности – кары, ледниковые цирки, торговые долины. Такие же следы развиты и в районах расчлененных низкогорий. По долинам рек и в межгорных впадинах развиты ледниковые и флювиогляциальные формы рельефа.

Геолого-структурный фактор влияет практически на все основные природные характеристики. Особенность его в том, что рассматриваемая территория сформировалась на террейнах юго-восточного окончания Яно-Колымского орогенного пояса (ЯКОП) и Вилигинском террейне Охотско-Корякского орогенного пояса (ОКОП). На эти пояса наложены меловые вулканогенные покровы, прорванные интрузиями гранодиоритов и гранитов Охотско-Чукотского вулканоплутонического пояса (ОЧВП) [Ханчук и др., 2006] (рис. 1).

Как известно, террейны – крупные блоки земной коры, ограниченные разломами, различающиеся своей геологической историей и литодинамическим комплексом пород, участвующих в их строении [Ханчук и др., 2006]. По этим показате-

лям на юго-востоке ЯКОП выделяют: *Приколымский* и *Омулевский* террейны пассивной континентальной окраины, литодинамические комплексы которых отличаются наличием мощных толщ карбонатных пород палеозойского возраста; *Куларо-Нерский* и *Сугойский* террейны пассивной континентальной окраины, литодинамический комплекс которых позднепалеозойско-мезозойского возраста представлен терригенными породами (переслаивающиеся глинистые сланцы, алевролиты, песчаники, реже известняки или песчаники с карбонатным цементом), накопившимися на шельфе и его склонах; *Иньяли-Дебинский* террейн, который расположен между Куларо-Нерским и Омулевым и выделен В.И. Шпикерманом как микроокеанический [Государственная... карта..., 2016]. Здесь литодинамический комплекс с преобладанием глинистых и кремнисто-глинистых сланцев сформировался в глубоководном морском бассейне. Эти толщи надвинуты на Куларо-Нерский террейн. В свою очередь, породы Омулевского террейна надвинуты на Иньяли-Дебинский. Вилигинский террейн задугового бассейна отличается обилием в составе литодинамического комплекса туфогенного материала, есть следы вулканических излияний.

Аккреционные процессы (тектоническое приращение террейнов) сопровождалось тектоническим дроблением пород, излиянием магмы и формированием массивов и даек магматических пород. Вулканы мелового возраста образуют сплошные покровы ОЧВП на южной и юго-восточной окраинах верхнеколымского водосбора.

В постаккреционное меловое и кайнозойское время на террейнах вдоль разломов образовывались впадины, выполненные осадочными угленосными образованиями мощностью до 3000–3500 м (Омсукчанская, Сеймчано-Буондинская, Аркагалинская и др.).

Аккреция террейнов и их постаккреционное развитие сопровождалось складчатостью осадочных пород, их метаморфизмом, разломами разных порядков, надвигами. Эти нарушения вызывали образование зон трещиноватых пород, при надвигах – пластоподобных. По окраинам гранитных массивов контактово-метаморфизованные породы (роговики) образовывали локальные кольцевидные зоны трещиноватости.

Разнонаправленные субвертикальные движения блоков, сопровождаемые обновлением зон трещиноватости, продолжаются и в настоящее время. К этим зонам приурочены долины всех горных водотоков [Шило, 1961].

Отмеченные особенности климата, рельефа, криолитозоны и геологической истории отразились в неоднородностях формирования стока малых горных рек в начале зимней межени.

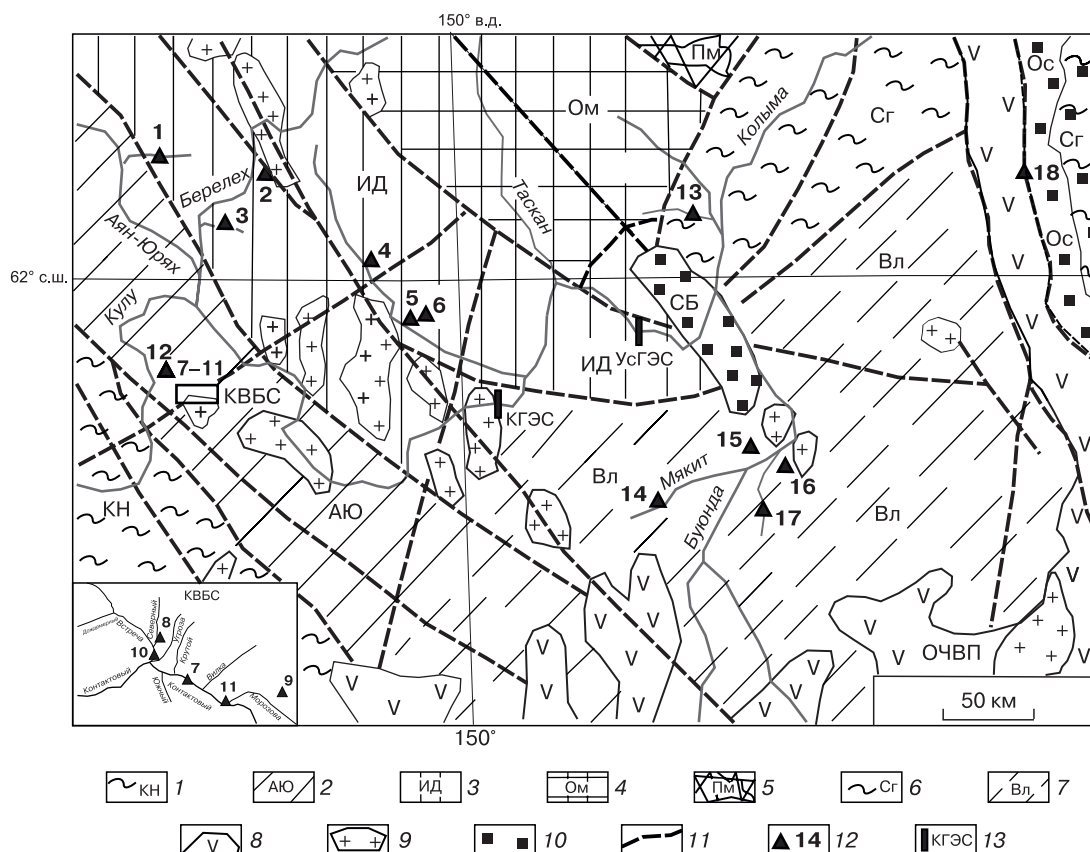


Рис. 1. Геолого-структурная схема водосбора Верхней Колымы [Геология СССР..., 1970; Ханчук и др., 2006; Государственная ... карта..., 2016]:

1–7 – террейны: 1 – Куларо-Нерский (КН), 2 – Аян-Юряхский антиклинорий (АЮ), спорной природы, 3 – Иньяли-Дебинский (ИД), 4 – Омuleвский (Ом), 5 – Приколымский (Пм), 6 – Сугойский (Сг), 7 – Вилигинский (Вл); 8 – вулканогенные покровы Охотско-Чукотского вулканогенного пояса; 9 – наиболее крупные интрузивные массивы; 10 – постагрегационные впадины: Сеймчано-Буюндинская (СБ), Омсукчанская (Ос); 11 – дизъюнктивные нарушения (разломы, надвиги, сбросы); 12 – гидрологические посты (номера см. в табл. 2–4); 13 – гидроэлектростанции: Колымская (КГЭС), Усть-Среднеканская (УсГЭС). ОЧВП – Охотско-Чукотский вулканогенный пояс. На врезке: Колымская водно-балансовая станция (КВБС) – посты в бассейне руч. Контактный (данные см. в табл. 2).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Общепринятой классификации горных водотоков по особенностям режима стока в разные сезоны года нет. По замечанию известного климатолога Н.К. Клюкина, в определенной мере условно выделяются весна, лето, осень, зима [Прикладной... справочник..., 1960]. Эти сезоны с учетом условий питания речного стока А.Г. Левин рассматривал так: весна (май) – питание рек в основном за счет таяния снега; лето (июнь–август) – питание рек за счет таяния снежников, ледников, наледей, гольцового льда, стока озер, инфильтрации выпадающих дождей, конденсации паров атмосферы, подземных вод таликов речных долин, СТС и подмерзлотных вод; осень (сентябрь) – за счет выпадающих дождей, подземных вод СТС, таликов, подмерзлотных вод и озер; зима (октябрь–ап-

рель) – за счет подземных вод (надмерзлотных и подмерзлотных), озер [Левин, 1954]. Первая четверть зимней межени – это период с 1 октября по 15 ноября. Водотоки, сток в которых прекращается в это время, обычно 1–3-го порядков, в отдельных случаях 4–5-го. На изучаемой территории их водосборная площадь меняется в пределах от десятых долей до 166 км². В табл. 2–4 приведены данные о таких водотоках по результатам многолетних наблюдений с учетом геодинамических особенностей дренируемых террейнов.

Надо заметить, что на площади Иньяли-Дебинского террейна малые (1–2-го порядков) водотоки с водосбором менее 10 км² в основном пересыхают в конце летней межени. Только в единичных случаях, примером которых является руч. Неожиданный, сток прекращается в зимнее время.

Таблица 2. Данные о стоке пересыхающих водотоков на площади Иньяли-Дебинского террейна [Многолетние данные..., 1985]

№ п/п	Водоток (ручьи, пост)	Водо-сбор, км ²	Абс. отметка, м	Номер по схеме	Геолого-геоморфологические характеристики	Годовой слой стока, мм	Модуль стока, л/(с·км ²)		Дата окончания стока (сред.)
							сент.	окт.	
1	Неожиданный (бассейн р. Дебин), устье	5.83	580	6	Сланцы (J), переслаивающиеся с песчаниками, алевролитами. Долина троговая, редколесье	195	2.74	0.86	18/X
2	Нижний Трубный (бассейн р. Дебин), устье	21.5	640	4	То же	205	7.1	0.11	16/X
3	Ягодный (бассейн р. Дебин), 2 км выше устья	100	504	5	То же	228	8.0	0.5	27/X
4	Талок, устье (бассейн р. Берелех, нижнее течение)	65.2	649	3	То же. Прорваны дайками	131	6.3	0.7	20/X
5	Амбардах, устье (бассейн р. Берелех)	135	693.7	2	То же. В нижнем течении – гранитные интрузии	261	8.9	0.7	25/X
6	Долгий, пос. Каменистый (бассейн р. Аян-Юрях)	166	720	1	Сланцы (T), переслаивающиеся с песчаниками, алевролитами; пересечены дайками. Редколесье, гольцы	191	4.1	0.3	23/X

Таблица 3. Данные о стоке пересыхающих водотоков на площади Аян-Юряхского антиклинория [Многолетние данные..., 1985; Суцанский и др., 2002]

№ п/п	Водоток – ручьи, пост КВБС (бассейн реки)	Водо-сбор, км ²	Абс. отметка, м	Номер по схеме	Геолого-геоморфологические характеристики	Годовой слой стока, мм	Модуль стока, л/(с·км ²)		Дата конца стока (сред.)
							сент.	окт.	
1	Южный, устье (приток руч. Контактный, бассейн р. Кулу)	0.27	985	7	Склон южной экспозиции низкогогорного водораздела (сланцы P ₂ , туффиты, алевролиты)	195	6.0	0.1	15/X
2	Северный, Лоток (приток руч. Встреча, бассейн р. Кулу)	0.38	870	8	Склон низкогогорья северной экспозиции (щебень и дресва сланцев, туффитов P ₂)	222	5.54	0.4	20/X
3	Морозова, Водопад-ный (исток руч. Контактный, бассейн р. Кулу)	0.63	1100	9	Массивный водораздел (граниты, гранодиориты Нечинского батолита). Каменистая пустыня. Элювий – глыбы, щебень, валуны с песком и дресвой	451	5.94	0	23/IX
4	Встреча, устье руч. Северный (приток руч. Контактный, бассейн р. Кулу)	5.30	830	10	Правобережье – среднегогорье с массивным водоразделом. Левобережье – низкогогорье в поле развития отложений P ₂ . На склоне – щебень, дресва сланцев, туффитов	220	7.7	0.4	20/X
5	Контактный Верхний (бассейн р. Кулу)	5.53	800	11	Среднегорье с массивными плоскими водоразделами, гранитоиды Нечинского батолита	320	10.1	0	5/X
6	Кривуля, устье (приток р. Кулу)	8.20	740	12	Низкогогорье с расчлененным водоразделом, сложенное пермскими туфогенными породами и меловым вулканическим покровом	143	5.1	0.2	11/X

Таблица 4. Данные о стоке пересыхающих в начале зимней межени водотоков на площадях террейнов ЯКОП, ОКОП и ОЧВП [Ресурсы..., 1969; Многолетние данные..., 1985]

№ п/п	Водоток – ручьи, пост (бассейн реки)	Водо- сбор, км ²	Абс. отметка, м	Номер по схеме	Геолого-геоморфологи- ческие характеристики	Годовой слой стока, мм	Модуль стока, л/(с·км ²)		Дата конца стока
							сент.	окт.	
Сугойский террейн (ЯКОП)									
1	Листвяжный, 1.3 км выше устья (приток р. Сеймчан, бассейн р. Колыма)	15.6	450	13	Сглаженное низкогорье, терригенные толщи триасового и юрского возраста	243	8.9	0.1	22/X
Вилигинский террейн (ОКОП)									
2	Гряда, пос. Буркот (приток р. Буюнда)	8.52	690	15	Сглаженное низкогорье, V-образная долина. Песча- ники, алевролиты, аргилли- ты (Т), туфогенные пласты, лавы базальтов, андезитов	167	9.2	0.6	20/X
3	Таборный, устье (приток р. Мякит, бассейн р. Буюнда)	10	840	14	То же	366	12.2	2.26	21/X
4	Тангон, устье (приток р. Буюнда)	11.1	650	16	Среднегорье, массивная V-образная долина. Гранитный батолит К ₂	264	11.7	1.08	15/X
5	Буркот, устье (приток р. Буюнда)	183	820	17	Сглаженное низкогорье. Песчаники, алевролиты, аргиллиты (Т), туфы и лавы базальтов, андезитов (К ₂), гранитоиды батолита (К ₁)	286	17.1	0.93	21/X
Дукатский вулcano-интрузивный купол (ОЧВП)									
6	Левая Брекчия, пос. Дукат (приток р. Чапчик, бассейн р. Сугой)	6.12	980	18	Сглаженное низкогорье, V-образная долина. Ингимбриты, риолиты (К)	371	11.4	Нет	22/IX

Наиболее длительные гидрометрические наблюдения проводились на площади КВБС. В геологическом отношении она находится в пределах Аян-Юрхского антиклинория, в бассейне стока р. Кулу. Геодинамическая привязка спорная. Некоторые геологи считают его частью Куларо-Нерского террейна [Ханчук и др., 2006], другие – блоком Вилигинского, надвинутого на Куларо-Нерский [Государственная... карта..., 2016]. По этой причине привязка антиклинория к террейну не уточняется. В табл. 3 приведены данные о начале зимней межени и по пересыхающим водотокам на площади этой геологической структуры.

Другие изученные водотоки КВБС и на территории антиклинория с водосборными площадями более 10 км² (руч. Контактный Средний (14.2 км²), руч. Контактный Нижний (21.2 км²), притоки р. Нелькоба – ручьи Террасовый (84 км²) и Подумай (42.6 км²)) перемерзают в ноябре–декабре и позднее.

Результаты изучения особенностей пересыхания водотоков в начале зимней межени на площадях других террейнов юго-восточных частей ЯКОП, ОКОП и ОЧВП приведены в табл. 4.

Водотоки на Приколымском и Сугойском террейнах пересыхают в сроки, не связанные с площадью водосбора. Например, приток р. Среднекан – руч. Аннушка с водосбором 22.8 км² – пересыхает в пределах от 15 октября до 25 ноября; руч. Ахтан (приток р. Чапчик) с водосбором 64.1 км² пересыхает во второй декаде ноября; руч. Жаркий, приток р. Оротукан, с водосбором 30.9 км² перемерзает в интервале от 2 ноября до 29 декабря. Таким образом, неоднородности стока малых водотоков, пересыхающих в начале зимней межени, достаточно хорошо проявлены.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ

Одной из наиболее существенных причин неоднородностей являются различия в литодинамическом комплексе террейнов, слагающих верхнеколымскую водосборную площадь. Наименьшие значения показателей стока в осенний и первый зимний месяцы свойственны Иньяли-Дебинскому террейну, в литодинамическом комплексе которого значимое место занимают фации больших морских глубин – черные глинистые и кремнистые

сланцы. Наиболее высокие величины эти показатели имеют на площади Вилигинского террейна, литодинамический комплекс которого формировался в задуговом морском бассейне, поэтому в составе осадочных пород велика роль туфогенного материала и вулканитов. На Омудевском и Приколымском террейнах пассивных континентальных окраин, сложенных палеозойским карбонатно-терригенными породами, все изученные малые водотоки относятся к промерзающим или с круглогодичным стоком, что является признаком высокой водообильности указанных террейнов. Водотоки, дренирующие массивы магматических пород, независимо от происхождения террейнов, отличаются повышенными значениями показателей водного стока. Все это связано с различиями гранулометрического состава отложений, соответственно, с их водопроницаемостью в СТС, образованных за счет выветривания коренных пород. Чем больше в составе сезонноталых отложений тонкозернистых и глинистых образований, тем меньше глубина их оттаивания, емкостные и фильтрационные свойства. Эта особенность, определяющая характер стока рек Северо-Востока России, описана в более ранних работах [Глотов, Глотова, 2008, 2011; Глотов и др., 2011, 2017, 2018, 2020], поэтому ограничимся констатацией факта, что террейновый контроль стока распространяется и на истоки горных рек.

Как известно, в конце теплого (дождливого) периода основным источником питания истоков всех горных рек криолитозоны является водоносный СТС. К этому времени другие источники (снежники, гольцовый лед, конденсация водяных паров атмосферы) истощаются, а с началом зимнего сезона прекращается и выпадение жидких атмосферных осадков. По этой причине питание водотоков происходит за счет сработки естественных запасов СТС. Так как V- и U-образные долины имеют крутизну склонов более 30°, подземные воды СТС стекают к подножию склона уже в первые дни после прекращения дождя. На этом фоне как неоднородность воспринимается существование стока в ручьях с водосборной площадью менее 1 км² (ручьи Южный, Северный и др.), сток в которых прекращается в сроки, характерные для рек более крупных порядков с водосборами до 183 км² (р. Буркот). Так как на рассматриваемых площадях нет каровых озер, единственным источником воды остается тающий лед в подошве СТС, сложенного элювиальными и склоновыми образованиями и(или) гипергенно-трещиноватыми породами.

Установившееся мнение об одновременности промерзания с начала зимнего сезона с дневной поверхности и от подошвы СТС основано на данных наблюдений за этим процессом на площадях сдренированных пород. Если в приподошвенной

части слоя есть подвижная вода, то оттаивание происходит до полного промерзания СТС. Это связано с формированием нулевой завесы, которая образуется в промерзающих водоносных породах или во влажных глинистых отложениях. Известно, что при замерзании воды выделяется 330 кДж/кг теплоты, это в 80 раз больше, чем при ее остывании на 1 °С, поэтому температура воды на фронте промерзания повышается, а плотность ее возрастает. Например, этот показатель при 0 °С равен 999.8337 кг/м³, а при 0.1 °С возрастает до 999.8404 кг/м³ [Свойства..., 1990]. Более плотная вода опускается к подошве сезонного слоя оттаивания, тепло расходуется на оттаивание льда. Температура этой воды 0 °С, как менее плотная она поднимается к фронту промерзания. При общем уклоне тальвега в десятки промилле грунтовая вода, в том числе питаемая оттаивающим льдом, фильтруется по уклону, тем самым осложняя процесс промерзания, ускоряя его и подпитывая естественные ресурсы. Как сказано выше, с началом холодного периода происходит сработка естественных запасов подземных вод в прирусловом сезонно-водоносном слое. Например, в упомянутом ручье Северный зимний сток продолжается в среднем 20 дней (с 30 сентября по 20 октября) при среднем месячном расходе 0.16 л/с [Многолетние данные..., 1985]. Общий объем стока за это время 276.5 м³. Эта вода поступает из водоносных сезонноталых коллювиальных образований мощностью около 1.5 м, в которые врезана нижняя часть долины ручья. Грунтовая вода может аккумулироваться в ложбине, прилегающей к тальвегу ручья. Длина ложбины выше створа около 100 м при ширине в среднем 15 м, т. е. общая площадь водоносной емкости около 1500 м³. Промерзание начинается с последних дней сентября, к середине октября оно достигает глубины около 50 см. При средней мощности водоносного слоя 1 м и пористости галечно-гравийных отложений с песчаным и супесчаным цементом с открытой пористостью 30 % водные ресурсы составляют 450 м³. При средней водоотдаче этих отложений 33 % в водоток поступит около 150 м³ воды. Следовательно, 126.5 м³ образуются за счет оттаивания льда в подошве промерзающих аллювиальных отложений. Их льдистость автор оценивает равной открытой пористости, т. е. 30–35 %. В данном случае водоотдача компенсирована подземным льдом, поэтому вся талая вода поступит в ручей при оттаивании примерно 30 см нижней части СТС.

Особенность промерзания водоносных отложений, сопровождаемая увеличением глубины оттаивания СТС, изучена в КВБС методом электропроводности мерзлых и талых аллювиальных отложений в долине руч. Контактный, на участке створа Контактный–Нижний, в период 1961–1962 гг.

На рис. 2 отчетливо видно замедленное в зимние месяцы увеличение на 40–50 см глубины сезонного оттаивания водоносного СТС, сложенного аллювиальными галечниками с песчано-гравийным заполнителем.

Допускаем, что неоднородные значения модулей стока в октябре от полного отсутствия до 2.26 л/(с·км²) (руч. Таборный, см. табл. 4), указывают на различную льдистость пород в подошве рассматриваемого слоя. Высокие значения модуля стока малых водотоков (ручьи Таборный, Тангон, Листвяжный) могут свидетельствовать об оттаивании достаточно мощных жил льда. При весеннем таянии снежного покрова талые воды восполняют сезонный криогенный ресурс в подошве СТС, улучшая фильтрационные свойства выветрелых пород. Образование и оттаивание льда в подошве промерзающего водоносного горизонта сходно с образованием гольцового льда в трещиноватых породах на водораздельных пространствах. Отличие этого процесса от рассматриваемого автором в том, что тающий гольцовый лед питает поверхностные водотоки в теплое время года при становлении СТС, роль которого в формировании водного баланса горных водотоков установлена ранее [Алексеев, 2011; Алексеев и др., 2011]. Лед слоя нулевой завесы в прирусловом горизонте питает водотоки в начале зимней межени.

Представленные выше заключения об участии талых вод в питании горных водотоков подтверждаются данными изучения изотопного состава воды р. Колымы и ее боковых притоков, выполненного И.В. Токаревым в 2013 и 2014 гг. [Токарев, 2025]. По изотопному составу воды (кислород-18) он выделяет три волны облегчения изотопного состава воды в нижнем течении р. Колымы и ее боковых притоках в районе пос. Черский (рис. 3). Первая волна проявлена в мае –

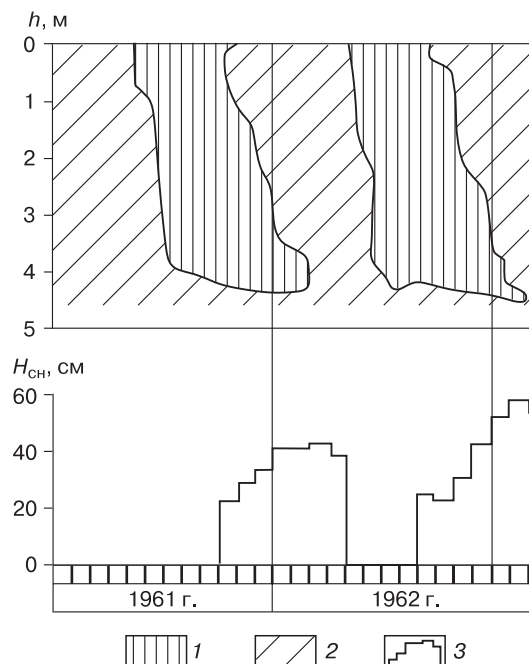


Рис. 2. Сезонное протаивание (h) аллювиальных отложений в пойме руч. Контактный и накопление снежного покрова (по материалам Л.Ф. Каменской и А.Ф. Огарева, 1970 г.) [Геокриология СССР..., 1989; Глотов, Глотова, 2004]:

1 – сезонноталые породы; 2 – мерзлые породы; 3 – средняя мощность снежного покрова ($H_{сн}$).

начале июня и связана с массовым таянием снежного покрова. Вторая волна соответствует августу – началу сентября. Она связана с выпадением дождей. Третья волна проявлена в боковых притоках с сезонным стоком и намечается в конце сентября – октябре. Убедительного объяснения

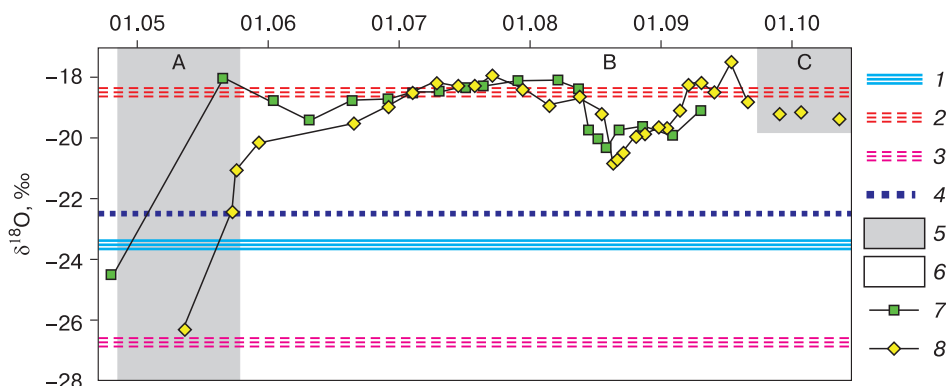


Рис. 3. Сезонные изменения изотопного состава кислорода в воде малого притока Колымы (Y4).

Средневзвешенные изотопные составы атмосферных осадков: 1 – за год ($\delta^{18}\text{O} = -23.7$ ‰); 2 – за теплый сезон ($\delta^{18}\text{O} = -18.5$ ‰), 3 – за холодный сезон ($\delta^{18}\text{O} = -26.8$ ‰); 4 – средневзвешенный состав воды в деятельном слое ($\delta^{18}\text{O} = -22.3$ ‰); 5 – период снеготаяния (А); 6 – период облегчения воды летом (В), в начале зимней межени (С); 7, 8 – изотопный состав кислорода Y4 в ручье в 2013 и 2014 гг. соответственно. Займствовано из работы [Токарев, 2025], с доавлениями автора.

этой волны нет. По мнению автора, это указывает на широкое распространение процесса питания водотоков на колымском водосборе талыми водами в начале холодного периода года. Более глубокое изучение выявленной закономерности позволит установить количественные характеристики доли тающего льда в формировании речного стока в зимнюю межень (см. рис. 3).

При изучении процесса сокращения стока в начале зимней межени отмечено, что в отдельных случаях происходит его ускорение в дни, предшествующие прекращению стока. Такое явление наблюдалось на створах руч. Контактный, пос. Верхний; руч. Гряда, пос. Буркот; руч. Таборный, устье; руч. Тангон, устье; руч. Левая Брекчия, пос. Дукат; руч. Листвяжный, 6.3 км выше устья. Автор связывает это с функционированием под руслом выше этих створов водопоглощающих локальных сквозных таликов. Возможность развития таких таликов в зонах тектонической трещиноватости под руслами малых водотоков подтверждается данными Г.Ю. Фейгина и С.П. Киселева, которые в 1975 г. выявили такой талик в истоках руч. Левая Брекчия вблизи выложенного водораздела, сложенного верхнемеловыми риолитами. Примерно в 500 м ниже этого талика в прирусловой зоне вскрыты мерзлые породы до глубины 205 м. Скважина в истоках в зоне разлома, пересекающего русло ручья, пройдена до 180 м по талым водоносным трещиноватым породам. В августе 1973 г. уровень воды в ней был у отметки устья, в ноябре того же года понизился на 5 м, а

в феврале 1975 г. достиг глубины 18 м при глубине сезонного промерзания 4.5 м.

Водопоглощающий сквозной талик выше гидрометрического створа на руч. Ягодный выявлен В.А. Осинцевым и Б.П. Коробовым в 1977 г. по результатам электроразведочных работ при поисках источников водоснабжения пос. Ягодное [Глотов, Глотова, 2004].

Существование сквозного талика под руслом руч. Контактный выше створа Контактный–Верхний подтверждено данными геофизических и термометрических наблюдений, выполненных Г.Ю. Фейгиным в 1964 г. в скважине, вскрывшей трещиноватые породы позднепермского возраста [Глотов, Глотова, 2004].

Характерно, что гидрографы суточного стока в октябре для створов с разной причиной неоднородности различны (рис. 4).

Для водотоков, пересыхающих только из-за полного дренирования СТС, это логарифмическая кривая, для створов, расположенных ниже водопоглощающих таликов, – парабола с фокусом на оси абсцисс. Это можно объяснить тем, что в первом случае питание поверхностного стока уменьшается постепенно с начала холодного периода года, в соответствии с уменьшением градиентов их уровней до полного выравнивания и прекращения стока. При наличии водопоглощающего сквозного талика расход воды на его питание одинаков во времени, поэтому уменьшение стока связано не только с вырождением сезонно-водоносного слоя, но и с относительным увеличением доли поглощаемой таликом воды. Это отражается в крутом изгибе линии гидрографа к оси абсцисс. Судя по динамике уменьшения стока в пересыхающих водотоках, существование сквозных водопоглощающих таликов в их руслах в горных районах распространено достаточно широко. Пока рано говорить о времени и процессах их образования. Можно предположить, что они имеют унаследованный характер со времени голоценового климатического оптимума [Шепелев, 2011, 2021]. Некоторое расширение долины, пересечение ее разломом, дает основание для предположения о связи предполагаемых локальных таликов с отмершими карами, которые широко распространены в горных районах криолитозоны. В настоящее время этот факт многочисленности объясняет многие особенности распространения подмерзлотных вод в горных районах криолитозоны, в том числе соответствие их пьезометрической поверхности формам рельефа при сплошном распространении криолитозоны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучая особенности процессов формирования стока пересыхающих в начале зимней межени истоков горных рек, можно выявить достаточно

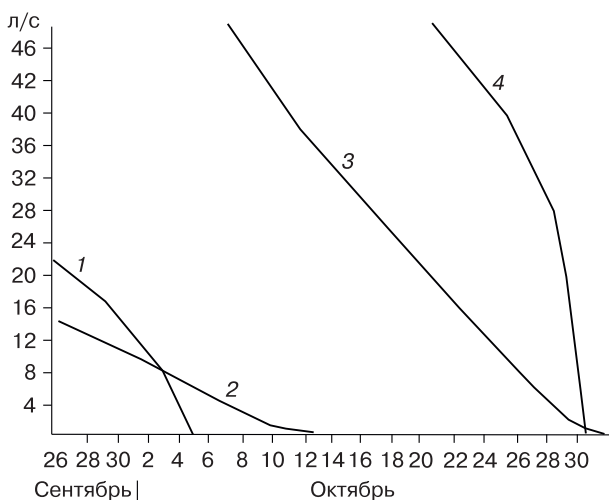


Рис. 4. Гидрографы на период завершения стока [Многолетние данные..., 1985; Ежегодные данные..., 2004].

1 – руч. Контактный Верхний, 1979 г., водосборная площадь $F = 5.53 \text{ км}^2$; 2 – руч. Встреча, выше устья руч. Угроза, 2003 г., $F = 5.52 \text{ км}^2$; 3 – руч. Талок, устье, 2003 г., $F = 65.2 \text{ км}^2$; 4 – руч. Ягодный, 3.2 км выше устья, 2003 г., $F = 102 \text{ км}^2$.

обоснованно уровни и причины неоднородностей. Прежде всего отчетливо выделяется влияние на формирование их стока особенностей литодинамических комплексов осадочных пород, слагающих дренируемые геодинамически разные террейны. Это позволяет использовать данные гидролого-гидрогеологических исследований в горных районах криолитозоны для уточнения геологических особенностей отдельных районов. Например, установленные гидрогеологические и гидрологические отличия Аян-Юряхского антиклинория от Иньяли-Дебинского и Вилигинского террейнов свидетельствуют об отсутствии его единства с указанными террейнами. Более обоснованно предположение о единстве этого антиклинория с Куларо-Нерским террейном пассивной континентальной окраины. Поэтому неоднородности стока малых горных рек, проявленные прежде всего в величине модуля стока и длительности существования стока в начале зимней межени в водотоках одного порядка, обусловлены геологическими различиями дренируемых террейнов. Автор относит их к неоднородностям первого уровня.

Выявлены неоднородности функционирования водных потоков, питаемых льдом, тающим в основании СТС в начале зимней межени. Величина льдистости в подошве этого горизонта отражается в величине октябрьского модуля стока. Видимо, эта льдистость постоянно восполняется, как и гольцовая. Различие их в том, что гольцовый лед – источник питания водотоков в теплое время года, а прирусловый – в начале зимней межени. Этот уровень неоднородностей автор относит ко второму уровню.

Причины образования третьего уровня неоднородностей связаны с расположением гидрометрических постов ниже водопоглощающих сквозных таликов. Такие сквозные талики на Северо-Востоке России ранее были известны на участках распространения карстующихся карбонатных палеозойских пород [Гидрогеология СССР..., 1972]. Гидрогеологическая значимость их бесспорна. Признание факта широкого распространения сквозных водопоглощающих таликов под руслом малых горных водотоков дает основание считать их очагами питания подземных вод всех гидрогеологических структур орогенных областей криолитозоны. Данные о стоке в верховьях горных рек в начале зимней межени можно использовать при гидрогеологических, инженерно-геологических и геокриологических изысканиях, оценках ресурсов пресных подземных вод.

Следовательно, изучение причин неоднородностей стока малых рек, пересыхающих в начале зимней межени, будет полезно не только гидрологам, инженерам-геологам и гидрогеологам, но и геологам, и мерзлотоведам при анализе информационно емких объектов.

Благодарности. Статья написана по результатам НИР по госбюджетной теме “Изучение закономерностей формирования подземного и поверхностного стока в орогенных поясах Северо-Востока России при глобальных изменениях климата в голоцене”.

Автор выражает благодарность рецензентам, работникам редакции журнала, замечания которых улучшили содержание статьи. Особо благодарен Глотовой Людмиле Петровне за большую работу по оформлению статьи в соответствии с требованиями журнала и необходимым переводом на английский язык части разделов.

Литература

- Алексеев В.Р.** Криогенные ресурсы и судьба цивилизации // Наука и техника в Якутии, 2011, № 1 (20), с. 85–90.
- Алексеев В.Р., Бояринцев Е.А., Гопченко Е.Д. и др.** Механизмы криогенного регулирования стока в формировании водного баланса малых горных рек зоны многолетнемерзлых пород // Украин. гидрометеорол. журн., 2011, № 8, с. 182–189.
- Аржакова С.К.** Зимний сток рек криолитозоны России. СПб., РГГМУ, 2001, 209 с.
- Боревский Б.В., Язвин Л.С.** Стратегия развития ресурсной базы питьевых подземных вод на территории России в XXI веке // Разведка и охрана недр, 2003, № 10, с. 7–15.
- Геокриология СССР.** Восточная Сибирь и Дальний Восток / Под ред. Э.Д. Ершова. М., Недра, 1989, 515 с.
- Геология СССР.** Т. 30. Кн. 1. Геологическое описание / Под ред. И.Е. Драбкина. М., Недра, 1970, 548 с.
- Гидрогеология СССР.** Т. 26. Северо-Восток СССР / Под ред. О.Н. Толстихина. М., Недра, 1972, 297 с.
- Глотов В.Е., Глотова Л.П.** Ресурсы пресных подземных вод Магаданской области. Библиогр. справочник (по состоянию на 01.01.2004 г.). Магадан, Кордис, 2004, 181 с.
- Глотов В.Е., Глотова Л.П.** Естественные нарушения подземного питания рек бассейна Верхней Колымы в зимнюю межень // Криосфера Земли, 2008, т. XII, № 1, с. 72–78.
- Глотов В.Е., Глотова Л.П.** Роль террейновой тектоники в формировании подземного стока зоны активного водообмена в долинах горных рек криолитозоны // Тихоокеан. геология, 2011, т. 30, № 5, с. 93–104.
- Глотов В.Е., Глотова Л.П., Ушаков М.В.** Аномальные изменения режима водного стока реки Колымы в зимнюю межень // Криосфера Земли, 2011, т. XV, № 1, с. 52–60.
- Глотов В.Е., Глотова Л.П., Ушаков М.В.** Тектонический контроль ледового режима водотоков Верхней Колымы // Геоэкология. Инж. геология. Гидрогеология. Геокриология, 2017, № 3, с. 31–40.
- Глотов В.Е., Глотова Л.П., Ушаков М.В.** Связь стока рек криолитозоны с геологической историей дренируемых террейнов // Геоэкология. Инж. геология. Гидрогеология. Геокриология, 2018, № 4, с. 14–40.
- Глотов В.Е., Глотова Л.П., Ушаков М.В.** Роль террейновой тектоники в формировании подземного стока зоны активного водообмена в долинах горных рек криолитозоны // Устойчивое развитие горных территорий, 2020, № 1, с. 22–33.
- Государственная геологическая карта Российской Федерации.** Лист Р-55 – Сусуман. Серия Верхне-Колымская. М-6

1:1 000 000 (третье поколение). Объяснит. зап. СПб., Карт-фабрика ВСЕГЕИ, 2016, 426 с.

Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 2003 г. Т. 1. Вып. 17. Бассейны р. Колымы, рек Магаданской области и Чукотского автономного округа. Магадан, Колым. упр-ние ГМС и ОПС, 2004, 305 с.

Левин А.Г. Водные ресурсы Колымы. Л., Гидрометеиздат, 1954, 151 с.

Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. 1. РСФСР. Вып. 17. Бассейны р. Колымы и рек Магаданской области / Ред. М.Р. Чернышева. Л., Гидрометеиздат, 1985, 430 с.

Научно-прикладной справочник “Климат России”. 2021. URL: <http://aisori-m.meteo.ru/climsprn/> (дата обращения: 05.03.2024).

Прикладной климатический справочник Северо-Востока СССР / Под. ред. Н.К. Ключкина. Магадан, Магадан. КОГИЗ, 1960, 426 с.

Программа фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период (2021–2030 гг.). Утверждена распоряжением Правительства РФ № 3684-р 31.12.2020 г. М., РАН, 2020, 149 с.

Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 19. Северо-Восток / Ред. В.В. Куприянова. Л., Гидрометеиздат, 1969, 282 с.

Свойства материалов и веществ. Вода и водяной пар. Вып. 1. Таблицы стандартных справочных данных. М., Изд-во стандартов, 1990, 158 с.

Синицкая В.М., Черняк И.А., Глотова Л.П., Крылова Е.Н. Верхоянский регион // Инженерная геология. Т. 4. Дальний Восток. М., Изд-во Моск. ун-та, 1977, с. 100–119.

Сушанский С.И., Глотов В.Е., Глотова Л.П. Многолетние, средние и суточные изменения стокоформирующих факторов и общего водного стока руч. Контактный // Факторы формирования общего стока малых горных рек в Субарктике (по материалам КВБС). Магадан, СВКНИИ, 2002, с. 35–58.

Токарев И.В. Изотопная реконструкция происхождения, эволюции и оценка текущего состояния водно-ледниковых объектов: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. СПб., 2025, 46 с.

Ханчук А.И., Голозубов В.В., Бялобжеский С.Г. и др. Кратоны и орогенные пояса Востока России // Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России. В 2 кн. Владивосток, Дальнаука, 2006, кн. 1, с. 93–229.

Шепелёв В.В. Надмерзлотные воды криолитозоны. Новосибирск, Акад. изд-во “Гео”, 2011, 169 с.

Шепелёв В.В. Анализ влияния криолитозоны на водообменные процессы // Науки о Земле и недропользование, 2021, т. 44, № 2, с. 184–189.

Шило Н.А. Четвертичные отложения Яно-Колымского золотоносного пояса, условия и этапы их формирования. Магадан, ВНИИ-1, 1961, 136 с.

References

Alekseev V.R. Cryogenic resources and the fate of civilization. *Nauka i tekhnika v Yakutii* [Science and technology in Yakutia], 2011, No. 1 (20). p. 85–90 (in Russian).

Alekseev V.R., Boyarintsev E.A., Gopchenko E.D. et al. Mechanisms of cryogenic regulation of flow in the formation of the water balance of small mountain rivers in the permafrost zone. *Ukrainskii gidrometeorologicheskii zhurnal*, 2011, No. 8, p. 182–189.

Arzhakova S.K. Zimnii stok rek kriolitozony Rossii [Winter runoff of rivers in the permafrost zone of Russia]. St. Petersburg, RGGMU, 2001, 209 p. (in Russian).

Borevsky B.V., Yazvin L.S. Strategy for the development of the resource base of drinking groundwater in Russia in the 21st century. *Razvedka i okhrana nedr* [Exploration and protection of subsurface resources], 2003, No. 10, p. 7–15 (in Russian).

Geokriologiya SSSR [Geocryology of the USSR]. Eastern Siberia and the Far East. E.D. Ershov (ed.). Moscow, Nedra, 1989, 515 p. (in Russian).

Geologiya SSSR [Geology of the USSR]. Vol. 30. Book 1. Geological description. I.E. Drabkina (ed.). Moscow, Nedra, 1970, 548 p. (in Russian).

Gidrogeologiya SSSR [Hydrogeology of the USSR]. Vol. 26. North-East of the USSR. O.N. Tolstikhin (ed.). Moscow, Nedra, 1972, 297 p. (in Russian).

Glotov V.E., Glotova L.P. Fresh groundwater resources of the Magadan region. Bibliographic reference book (as of 01.01.2004). Magadan, Kordis, 2004, 181 p. (in Russian).

Glotov V.E., Glotova L.P. Natural disturbances of underground river recharge in the Upper Kolyma River area in winter time. *Kriosfera Zemli* [Earth's Cryosphere], 2008, vol. XII, No. 1, p. 72–78 (in Russian).

Glotov V.E., Glotova L.P. The role of terrane tectonics in the formation of underground flow of the zone of active water exchange in the valleys of mountain rivers of the permafrost zone. *Tikhookeanskaya geologiya* [Pacific Geology], 2011, vol. 30, No. 5, p. 93–104 (in Russian).

Glotov V.E., Glotova L.P., Ushakov M.V. Anomalous changes of Kolyma River runoff condition winter period. *Kriosfera Zemli* [Earth's Cryosphere], 2011, vol. XV, No. 1, p. 52–60 (in Russian).

Glotov V.E., Glotova L.P., Ushakov M.V. Tectonic control of the ice regime of watercourses in the Upper Kolyma. *Geoekologiya. Inzh. geologiya. Hidrogeologiya. Geokriologiya* [Geoeology. Engineering Geology. Hydrogeology. Geocryology], 2017, No. 3, p. 31–40 (in Russian).

Glotov V.E., Glotova L.P., Ushakov M.V. Relationship between river runoff in the cryolithozone and the geological history of drained terranes. *Geoekologiya. Inzh. geologiya. Hidrogeologiya. Geokriologiya* [Geoeology. Engineering Geology. Hydrogeology. Geocryology], 2018, No. 4, p. 14–40 (in Russian).

Glotov V.E., Glotova L.P., Ushakov M.V. The role of terrane tectonics in the formation of underground flow of the zone of active water exchange in the valleys of mountain rivers of the permafrost zone. *Ustoichivoe razvitie gornyykh territorii* [Sustainable development of mountain territories], 2020, No. 1, p. 22–33 (in Russian).

State geological map of the Russian Federation. Sheet P-55 – Susuman. Verkhne-Kolyma series. Scale 1:1,000,000 (third generation). Explanatory letter. St. Petersburg, Kartfabrika VSEGEI, 2016, 426 p. (in Russian).

Annual data on the regime and resources of land surface waters. 2003. Volume 1. Issue 17. River basins. Kolyma, rivers of the Magadan region and Chukotka Autonomous Okrug. Magadan, Kolyma Department of State Migration Service and OPS, 2004, 305 p. (in Russian).

Levin A.G. Vodnye resursy Kolymy [Water resources of Kolyma]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1954, 151 p. (in Russian).

Long-term data on the regime and resources of land surface waters. Vol. 1. RSFSR. Issue 17. River pools Kolyma and rivers of the Magadan region. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1985, 430 p. (in Russian).

- Scientific and applied reference book "Climate of Russia". 2021. URL: [//aisori-m.meteo.ru/climsprn/](https://aisori-m.meteo.ru/climsprn/) (last visited: 05.03.2024).
- Applied climate reference book of the North-East of the USSR. N.K. Klyukina (ed.). Magadan, Magadanskoe KOGIZ, 1960, 426 p. (in Russian).
- Program of fundamental scientific research in the Russian Federation for a long-term period (2021–2030). Approved by Decree of the Government of the Russian Federation No. 3684-r on December 31, 2020. Moscow, RAN, 2020, 149 p. (in Russian).
- Surface water resources of the USSR. Vol. 19. North-East. V.V. Kupiyanova (ed.). Leningrad, Gidrometeoizdat, 1969, 282 p. (in Russian).
- Properties of Materials and Substances. Water and Water Vapour. Issue 1. Standard Reference Data Tables. Moscow, Izd-vo Standartov, 1990, 158 p. (in Russian).
- Sinitskaya V.M., Chernyak I.A., Glotova L.P., Krylova E.N. Verkhoyansk region. In: Engineering geology. Vol. 4. Far East. E.G. Chapovsky (ed.). Moscow, Moscow Univ. Press, 1977, p. 100–119 (in Russian).
- Sushchansky S.I., Glotov V.E., Glotova L.P. Long-term, average and daily changes in runoff-forming factors and total water runoff Contact stream. In: Factors in the formation of the total flow of small mountain rivers in the Subarctic (based on materials from the KVBS). Magadan, SVKNII, 2002, p. 35–58 (in Russian).
- Tokarev I.V. Isotope reconstruction of the origin, evolution and assessment of the current state of fluvioglacial objects: Abstract of the dissertation for the degree of Doctor of Geological and Mineralogical Sciences. St. Petersburg, 2025, 46 p. (in Russian).
- Khanchuk A.I., Golozubov V.V., Byalobzhesky S.G. et al. Cratons and orogenic belts of the East of Russia. In: Geodynamics, magmatism and metallogeny of the East of Russia. In 2 books. A.I. Khanchuk (ed.). Vladivostok, Dalnauka, 2006, Book 1, p. 93–229 (in Russian).
- Shepelev V.V. Nadmerzlotnye vody kriolitozony [Suprapermafrost waters of the permafrost zone]. Novosibirsk, Acad. Publ. House "Geo", 2011, 169 p. (in Russian).
- Shepelev V.V. Analysis of the influence of the permafrost zone on water exchange processes. Nauki o Zemle i nedropolzovanie [Earth Sciences and Subsoil Use], 2021, vol. 44, No. 2, p. 184–189 (in Russian).
- Shilo N.A. Chetvertichnye otlozheniya Yano-Kolymского zolotonosnogo poyasa [Quaternary deposits of the Yana-Kolyma gold belt, conditions and stages of their formation]. Magadan, VNII-1, 1961, 136 p. (in Russian).

*Поступила в редакцию 8 апреля 2024 г.,
после доработки – 20 марта 2025 г.,
принята к публикации 3 июня 2025 г.*