

ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ПРИРОДНЫХ И ПРИРОДНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 556.16(282.256.86)

СВЯЗЬ СТОКА ГОРНЫХ РЕК КРИОЛИТОЗОНЫ С ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ИСТОРИЕЙ ДРЕНИРУЕМЫХ ТЕРРЕЙНОВ

© 2018 г. В. Е. Глов^{1,*}, Л. П. Глотова^{1,**}, М. В. Ушаков^{1,***}

¹Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н. А. Шило
Дальневосточного отделения Российской академии наук (СВКНИИ ДВО РАН), Магадан, Россия

*E-mail: geoecol@neisri.ru

**E-mail: glotova@neisri.ru

***E-mail: ushakov@neisri.ru

Поступила в редакцию 05.04.2017 г.

Выявлены различия геологической природы в режиме стока рек в период открытого русла на примере лево- и правобережных притоков р. Колымы в верхнем ее течении (Верхняя Колыма). Левобережные притоки дренируют в основном Иньяли-Дебинский синклиний и характеризуются нормой наименьшего за 30 сут модуля стока в летне-осеннюю межень в среднем по водосборной площади 7.05 л/(с км²), среднемесячной за октябрь – 1.13 л/(с км²). Правобережные притоки находятся большей частью на площади Аян-Юряхского антиклинория. Норма минимального 30-суточного модуля стока в летне-осеннюю межень, в среднем, по всей водосборной площади 8.12 л/(с км²), в октябре – 2.73 л/(с км²). При дождевых паводках модуль максимального стока левобережных притоков составляет 79–137 л/(с км²), а правобережных – 96–921 л/(с км²). Слой стока за паводок, соответственно 21–36 и 22–39 мм. Полученные результаты объясняются тем, что фильтрационные свойства, емкостные показатели и водоотдача рыхлых и трещиноватых образований в зоне активного водообмена связаны с особенностями геологической истории дренируемых блоков. Они всегда меньше на блоках земной коры, подобных Иньяли-Дебинскому синклинию. Их геологическая история характеризуется накоплением осадков в глубоководных морских бассейнах на утонченной континентальной или на океанической коре с последующими коллизиями. Для современного активного водообмена более благоприятны Верхоянская континентальная окраина, Омудевский террейн – фрагмент пассивного континентального склона, Вилигинский террейн – фрагмент задугового бассейна. Реки, их дренирующие – Кулу, Таскан, Бохача, Вилига, отличаются повышенными показателями стока как в летне-осенний период, так и в начале зимнего сезона года. В статье намечен комплекс дальнейших исследований по изучению связей речного стока с особенностями террейновой тектоники.

Ключевые слова: Верхняя Колыма, горные районы, криолитозона, речной сток, зона активного водообмена, террейны, модуль стока, межень, паводок

DOI: 10.1134/S0869780318040026

ВВЕДЕНИЕ

Результаты региональных гидрогеологических исследований на водосборной площади ряда крупных горных рек Северо-Востока России позволили установить, что при сходных орографических, климатических, геокриологических обстановках в холодное время года отчетливо просматривается влияние геодинамической природы террейнов на формирование подземных вод зоны активного водообмена (ЗАВ) [10–13]. Террейном мы называем ограниченный разломами блок земной коры, который по своей геологической истории резко отличается от смежных с ним блоков [24]. Данное определение указывает на возможные гидрогеологические и гидрологические различия террейнов. Роль их в формировании обще-

го водного стока не раскрыта. Это связано с недооценкой стокоформирующей значимости зоны активного водообмена в криолитозоне [21, 22]. Однако результаты многолетних наблюдений на Колымской воднобалансовой станции позволили А.С. Кузнецову и Ш.С. Насыбулину обосновать вывод, что в горных районах криолитозоны при глубине сезонного протаивания около 20 см и более весь поверхностный склоновый сток практически полностью трансформируется в грунтовый даже во время обильных и продолжительных дождей [17]. Таким образом, сезонно-талый слой (СТС) – важное звено ЗАВ, выполняет роль промежуточного коллектора, через который осуществляется питание рек как в меженные периоды, так и при выпадении паводкоформирующих

Таблица 1. Гидрографические характеристики основных притоков р. Колыма в верховьях [22]

№№ п/п	Река	Длина реки от истока, км	Площадь водосбора, км ²	Средний уклон, ‰
Левобережные притоки				
1	Аян-Юрях	237	24100	3
2	Берелех	239	9810	3.4
3	Дебин	248	5530	4.9
4	Таскан	232	11200	6.4
Правобережные притоки				
1	Кулу	307	15600	2.9
2	Тенька	137	4570	5.4
3	Детрин	222	6450	2.5
4	Бохапча	212	13800	2.8

дождей. Фильтрационные и емкостные свойства, водопроницаемость, водоотдача пород, слагающих основные элементы ЗАВ (СТС, надмерзлотные и сквозные талики речных долин), могут определять особенности режима речного стока не только в холодное, но и в теплое время года.

Цель исследования – выявить закономерные различия режимов стока рек в летне-осенний (теплый) период на площадях террейнов с разной геологической историей.

Актуальность исследования определяется ее соответствием Программе ФНИ государственных академий на 2013–2020 гг., направлению 76 “Поверхностные и подземные воды суши – ресурсы и качество, процессы формирования, динамика и механизмы природных и антропогенных изменений, стратегия водообеспечения и водопользования страны”.

Объект исследований – реки бассейна верхнего течения р. Колыма (Верхней Колымы) общей площадью 91060 км² по замыкающему створу “устье р. Таскан” (рис. 1). К числу наиболее крупных левобережных рек относятся Аян-Юрях, Дебин, Таскан; правобережных – Кулу, Тенька, Детрин, Бохапча (табл. 1). Выбор объекта обоснован тем, что на верхнеколымском водосборе были открыты и отрабатываются более 80-ти лет крупнейшие по запасам россыпи золота, разведаны крупные и гигантские месторождения рудного золота, на которых начата добыча. Построена и функционирует Колымская ГЭС. Поэтому объект исследования наиболее изучен в гидрологическом отношении. На многих метеопостах длительность наблюдений превышает 50 лет, что позволяет делать статистически обоснованные заключения.

Предмет исследования – поверхностный водный сток в июле-сентябре, когда сезонное оттаивание повсеместно превышает 25 см, а на отдельных элементах рельефа – более 1 м, полностью стлавает сезонно-мерзлый слой на таликах.

вание повсеместно превышает 25 см, а на отдельных элементах рельефа – более 1 м, полностью стлавает сезонно-мерзлый слой на таликах.

Методы исследования. Использован системный подход, при котором водоток (река, ручей) рассматривается как элемент, взаимодействующий не только с атмосферой, но и с дренируемым блоком земной коры, прежде всего, с водоносными слоями и зонами ЗАВ. Изучены и проанализированы многочисленные фондовые, рукописные и опубликованные материалы, в том числе и авторские работы, по изучению поверхностного и подземного водного стока р. Колыма. Для выводов использованы данные наблюдений длительностью более 13-ти лет на гидрометрических постах (см. рис. 1). Геологические заключения основаны на опубликованных трудах известных специалистов.

Построение графиков связи характеристик речного стока производилось при помощи табличного редактора Microsoft Excel.

ХАРАКТЕРИСТИКА СТОКОФОРМИРУЮЩИХ ФАКТОРОВ

Существенное влияние на общий водный сток оказывают орография, климат, подстилающая поверхность (почвы и растительный покров), геологические и мерзлотно-гидрогеологические условия.

Орографически водосборная площадь Верхней Колымы – нагорье с абсолютными отметками не более 1500 м и относительными превышениями 400–500 м, ограниченным водораздельными хребтами (см. рис. 1). Крутизна склонов северной экспозиции 25–35°, южных – менее 25°. Достаточно монотонный плоскогорный ландшафт нарушен возвышенными массивами и грядами, сложенными обычно гранитами. Наиболее крупные гранитные массивы находятся в пределах хребтов Чьорге, Больших и Малых порогов, цепи Черского. Массивы достигают абсолютных отметок 1800–2200 м, рельеф их альпинотипный.

Климат Верхней Колымы резко континентальный, с длительным (7 и более месяцев) холодным периодом года, когда среднесуточная температура воздуха ниже 0°C. Теплый период года, со среднесуточной температурой воздуха выше 0°C включает сезоны:

– *весна* (май) отличается тем, что радиационный баланс переходит к положительным значениям (обычно в конце I декады мая), начинается интенсивное таяние снега, наблюдаются половодья на реках;

– *лето* (с июня по II декаду августа) характеризуется положительным радиационным балансом (до 6–8 ккал/см² · мес). К концу июня обычно все снежники и наледи в речных долинах растаивают.

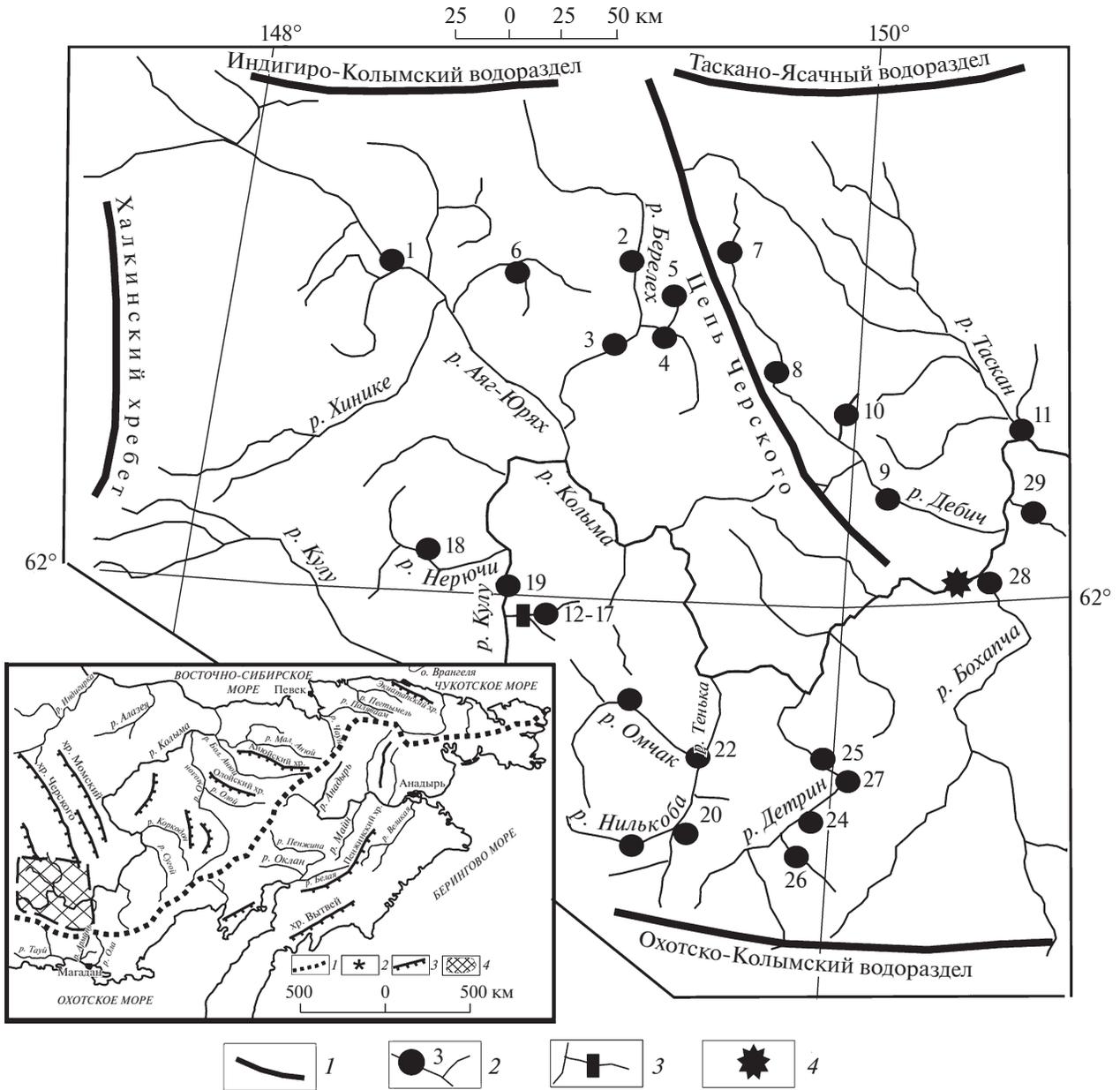


Рис. 1. Орогидрографическая схема Верхней Колымы: 1 – линии водоразделов; 2 – гидрометрические посты; 3 – Колымская воднобалансовая станция; 4 – Колымская ГЭС (на врезке – расположение района исследования на Северо-Востоке России).

На водотоках при выпадении дождей формируются летние паводки;

– *осень* (с III декады августа по сентябрь) отличается снижением радиационного баланса до 0, обычные ночные заморозки, осадки выпадают в виде дождя и снега. Снег в дневное время тает. При обильных дождевых осадках наблюдаются паводки. К концу сезона среднесуточные температуры воздуха снижаются ниже 0°C, на реках и озерах образуются забереги, шуга.

Основные стокоформирующие показатели климатического фактора по репрезентативным

метеостанциям, находящимся в речных долинах на относительно равных абсолютных отметках, приведены в табл. 2. Из приведенных данных видно, что климатические показатели возрастают с запада на восток, с севера на юг. Однако эти возрастания слабо выражены в среднегодовых показателях температуры воздуха и количества осадков, особенно в холодное время года.

Подстилающая поверхность на территории Верхней Колымы изучена мало. Только на Колымской воднобалансовой станции (КВБС), расположенной в бассейне р. Кулу, проводились

Таблица 2. Климатические показатели Верхней Колымы [20; www.meteo.ru]

№№ п/п	Название метеостанции; координаты; абс. отметка, м; год начала работы	Показатели за период от начала наблюдений по 2010 г.				
		Температура, °С		Осадки, мм		
		средняя		средние многолетние	по сезонам	
		многолетняя	за теплый период		теплый период	холодный период
Левобережье Верхней Колымы						
1	Сусуман; 62°51' с.ш. 148°47' в.д.; 720; 1940 г.	–13.3	8.3	304	189	115
2	Ягодный; 62°31' с.ш. 149°37' в.д.; 504; 1938 г.	–12.7	7	340	211	129
Правобережье Верхней Колымы						
3	Кулу; 62°16' с.ш. 146°35' в.д.; 670; 1938 г.	–12.6	8.6	351	232	119
4	Усть-Омчуг; 61°08' с.ш. 149°38' в.д.; 566; 1948 г.	–11.3	8	352	224	128

комплексные ландшафтные исследования, в том числе почв и растительности. Установлено, что каменистые осыпи, гольцы, каменистые тундры занимают 35% от общей площади, редколесья лиственные и кедрового стланика – 38%, пойменные и присклоновые леса – 15%, редколесья в поймах долин – 10%, болота и заболоченные приозерные площади – 2%.

Приведенные характеристики основных географических факторов формирования общего водного стока позволяют достаточно обоснованно судить о географическом сходстве левобережной и правобережной площадей водосбора Верхней Колымы. Это заключение подкреплено результатами изучения водного стока на территории КВБС, которые признаны репрезентативными для всей площади Верхней Колымы [16, 19, 28].

Геологические условия изучаемой территории определяются распространением террейнов с разной геологической историей, интрузивными массивами, вулканогенными покровами и кайнозойскими впадинами Яно-Колымского орогенного пояса [5]. Значительную часть бассейна Верхней Колымы занимают южное завершение Иньяли-Дебинского синклинория, входящего в Куларо-Нерский террейн – фрагмент позднепалеозойского-раннемезозойского турбидитового бассейна, и Аян-Юрхский антиклинорий, расположенный на юго-восточном завершении Верхоянской пассивной континентальной окраины. Эти структуры граничат с Омудевским террейном, являющимся частью Колымо-Омолонского супертеррейна, и Вилигинским – фрагментом задугового бассейна (рис. 2). Не изучены в гидрогеологическом отношении площади, занятые вулканогенными покровами Охотско-Чукотско-

го вулканоплутонического пояса, и большая часть Верхоянской пассивной континентальной окраины. Поэтому их описание не приводится.

Омудевский террейн занимает большую часть площади водосбора р. Таскан. Он сложен палеозойскими карбонатными и терригенно-карбонатными толщами, накопившимися на палеоконтинентальной пассивной окраине. Приток р. Таскан – р. Судар, дренирует юго-восточный фланг этого террейна, известного как Сударский субтеррейн, отличающийся присутствием диабазов, трахибазальтов и песчаников помимо карбонатных пород [5].

Иньяли-Дебинский синклинорий граничит с Омудевским террейном по Дарпирскому глубинному разлому. Осадочные породы на крыльях представлены преимущественно морскими сланцево-песчаниковыми толщами триасового возраста. В осевой зоне залегают юрские флишеидные осадки. Характерно широкое развитие разрывных нарушений, сложной линейной складчатости, надвигов, многочисленных малых и крупных интрузии гранитов. Породы подвержены процессам регионального метаморфизма начальных ступеней зеленосланцевой фации [6]. Аккумуляция осадков происходила в глубоководном трое вблизи утонченного края континентальной плиты [4]. В процессе изучения возраста цирконов из 25 интрузий гранитоидов установлено, что в большинстве в них отсутствуют цирконы с докембрийскими унаследованными ядрами. Только на юго-западе синклинория граниты из трех интрузий содержат такие домены с возрастом 1.8 млрд лет [1]. Это свидетельствует о том, что на большей части площади Иньяли-Дебинского синклинория отсутствует континентальная кора. Исключение со-

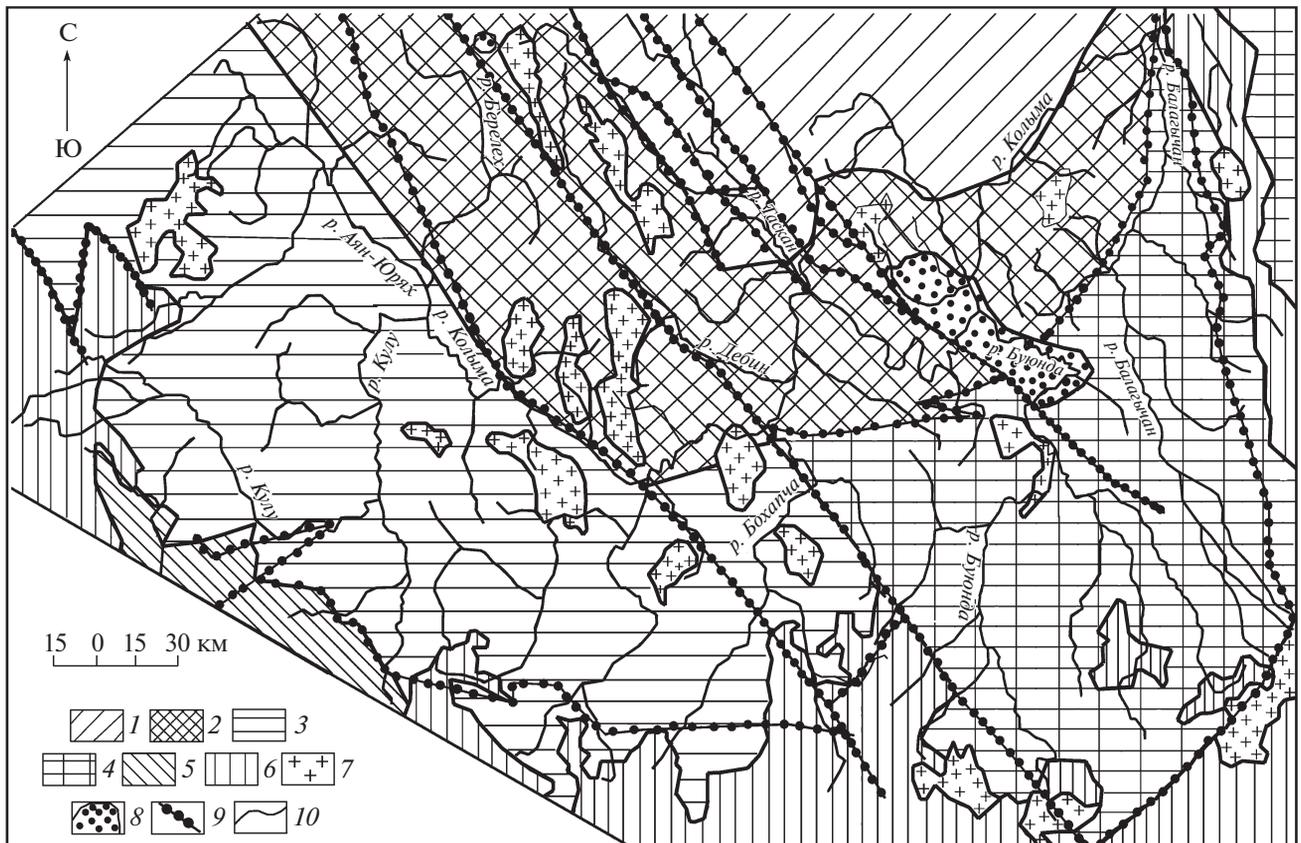


Рис. 2. Структурно-гидрогеологическая схема Верхней Колымы (составил В.Е. Глотов; геологическая основа по А.И. Ханчуку и др. [7]): 1–5 – система гидрогеологических массивов, адмассивов, вулканогенных спербассейнов, артезианских бассейнов: в том числе: 1 – Омuleвского террейна, 2 – Иньяли-Дебинского синклиория, 3 – Аян-Юряхского антиклинория, 4 – Вилигинского террейна, 5 – Верхоянской континентальной окраины; 6 – система гидрогеологических массивов и вулканогенных супербассейнов Охотско-Чукотского вулканогенно-плутоногенного пояса; 7 – гидрогеологические массивы на базе гранитных интрузий; 8 – малые артезианские бассейны с осадочным чехлом кайнозойского возраста; 9 – глубинные разломы; 10 – предполагаемые границы террейнов.

ставляет ограниченный участок рассматриваемой площади, примыкающий к Верхоянской пассивной континентальной окраине, включающий и Аян-Юряхский антиклинорий. По мнению А.Д. Чехова, накопленные отложения были преобразованы в ходе позднеюрской коллизии Колымо-Омолонского супертеррейна с Северо-Азиатской плитой [25].

Аян-Юряхский антиклинорий отделен от синклиория зоной глубинного Чай-Юрьинского разлома. В осевой части он сложен пермскими, на крыльях – триасовыми осадочными породами. В составе пермских отложений преобладают глинистые сланцы, триасовых – алевролиты со слоями песчаников, смятыми в линейные складки, разбитыми разломами сдвиговой природы, прорванными интрузиями гранодиоритов и гранитов. Осадочные породы подвергались региональному метаморфизму на уровне фации зеленых сланцев. В пермских породах выявлен кливаж, есть следы пластических течений [3].

Накопление пермских осадков мощностью до 7 км происходило в глубоководном трого у подножия Верхоянской пассивной континентальной окраины в условиях лавинной седиментации. Это отразилось в фациальной изменчивости пермских отложений, выраженной в вариациях мощности и состава пород: пачки алевроито-глинистых пород с плавающей галькой вулканитов (диамиктиты) замещаются массивными песчаниками, появляются линзы и прослои туфоалевролитов, туфобрекчий [2]. Позднеюрские коллизионные события способствовали образованию зон кливажа, надвигов, разломов. Видимо, можно считать рассмотренный антиклинорий элементом Верхоянской пассивной континентальной окраины. Это согласуется с тем, что на Дегдеканском золоторудном месторождении на правом берегу р. Колыма в дайках кислого и среднего состава встречены ксенолиты гнейсов протерозойского возраста [1].

Вилигинский террейн по сложной системе разломов (Паутовской) граничит с Иньяли-Дебинским синклиорием и Аян-Юряхским антикли-

норием. Юго-восточная и южная части террейна перекрыты вулканогенными комплексами Охотско-Чукотского вулканоплутонического пояса. На рассматриваемой площади террейна развиты алевролиты, песчаники туфогенные, аргиллиты пермского, триасового и юрского возрастов, которые слагают складки с углами наклона не более 20° . К разломам приурочены крупные интрузии гранитоидного и диоритового состава [8].

Литологические особенности Вилигинского террейна обусловлены накоплением осадков в задуговом морском бассейне. Рельеф дна этого бассейна был сильно расчленен. На мелководных участках накапливались терригенно-вулканогенные отложения с туфами и лавами андезитов и базальтов; в глубоководных условиях — отложения, аналогичные зафиксированным в Аян-Юряхском антиклинории [4].

Постаккреционные структуры — межгорные впадины, обычно приурочены к зонам глубинных долгоживущих разломов. Роль впадин в питании рек незначительна из-за малой площади распространения и глубокого (до 200–300 м) промерзания.

Мерзотно-гидрогеологические условия. Предшественниками исследователями в бассейне Верхней Колымы выделена система гидрогеологических массивов, адмассивов, артезианских бассейнов и вулканогенных супербассейнов, расположенных в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород (ММП) [9, 26]. Системы этих гидрогеологических структур с учетом террейновой тектоники района показаны на рис. 2.

Глубина многолетнего промерзания на большей части изучаемой площади превышает глубину проникновения трещин выветривания, и, по данным бурения скважин на водоразделах и верховьях речных долин, достигает 300–500 м. У подножия склонов она сокращается до 150–180 м, а в днищах речных долин вблизи русла и под руслами малых рек и ручьев — до 100 м.

По отношению к толще ММП в гидрогеологических структурах выделяют подземные воды: надмерзлотные, подмерзлотные, сквозных таликов и внутримерзлотные.

Основную роль в питании рек в теплое время года играют воды СТС, которые распространены повсеместно — от водоразделов до днищ речных долин. Водоносными являются аллювиальные, делювиальные, элювиальные и пролювиальные отложения. Питание подземных вод осуществляется за счет инфильтрации талых и дождевых вод, конденсации паров атмосферы. Начало оттаивания приходится на I декаду мая. К концу мая — в I декаде июня глубина оттаивания на гольцах и в присклоновых редколесьях чаще всего не более 20 см. Наибольшей глубины протаивание достигает в сентябре. К этому времени делювиальные

отложения, сложенные щебнем и дрсвой сланцев, песчаников, магматических пород на каменистых тундрах и в гольцах, оттаивают до глубины от 0.75 м в редколесьях, на склонах — до 1.5 м, в каменистых осыпях — до 3.5 м, под руслами водотоков и у подножия склонов — до 2.5 м. На участках развития торфяного слоя мощностью 20–35 см глубина оттаивания не превышает 0.7 м, а при большей мощности — менее 0.5 м. Промерзание СТС начинается с наступлением устойчивых среднесуточных температур ниже 0°C , что происходит в конце сентября — I декаде октября. Окончательное промерзание СТС на Северо-Востоке России завершается в ноябре. Период после промерзания СТС до интенсивного таяния снега и появления стока в водотоках А.И. Калабин назвал *критическим водным периодом* в жизни рек [14], когда непромерзающие водотоки питаются водами таликов речных долин.

В таликах водоносны аллювиальные гравийно-галечниковые отложения с песчаным или супесчаным (иногда суглинистым) заполнителем и трещиноватые коренные породы зоны гипергенеза. Водоносные талики повсеместно развиты в пойме долин, наблюдаются под погребенными протоками, старичными озерами. Размеры таликов в долинах промерзающих рек зависят от времени года, площади речного бассейна, мощности и состава рыхлых отложений. В долинах водотоков 3-го порядка в среднем и нижнем течении мощность таликов 5–6 м, 6–7-го порядков — до 70 м. В зонах развития открытой трещиноватости пород или на переуглубленных участках речной долины могут образоваться сквозные талики. При уровне подземных вод в них ниже уровня воды в реке сквозной талик будет водопоглощающий, при уровне выше — водовыводящий.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЖИМА ЛЕТНЕ-ОСЕННЕГО СТОКА

В работе [27] показано, что годовой сток рек левобережных притоков р. Колымы в ее верховье меньше, чем сток правобережных. Это было увязано авторами статьи с особенностями увлажнения водосборной площади. Более детальное изучение речного стока показало, что определенную значимость играют и другие факторы, для выявления которых мы проанализировали режим стока рек в III квартале года. К началу его снежники и наледи обычно стаивают, современные же ледники имеют ничтожно малое распространение [23], поэтому в питании рек участвуют вместе с дождевыми только подземные воды. Минимальный 30-суточный летне-осенний сток левобережных притоков р. Колымы оценивается в пределах 4–9 л/(с км²) (среднее 7.05), а правобережных — 4–13 л/(с км²) (среднее 8.12), т.е. примерно на 15% выше, чем в левобережных притоках (табл. 3).



Рис. 3. Связь норм слоя стока за III квартал и слоя минимального 30-суточного стока в летне-осеннюю межень левобережных и правобережных притоков Верхней Колымы. Номера точек по табл. 3.

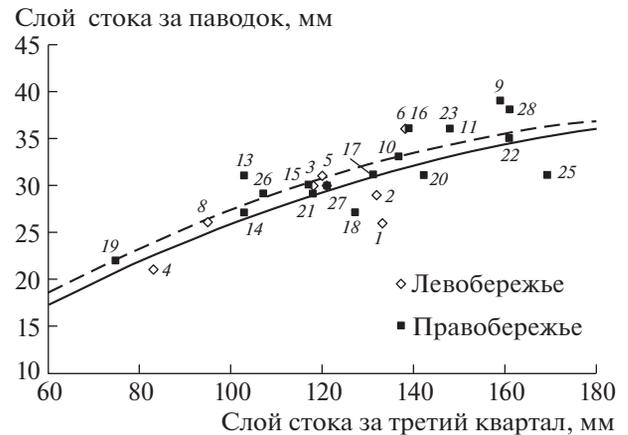


Рис. 4. График связи норм слоя стока за III квартал и слоя стока за дождевой паводок рек Левобережья и Правобережья р. Колымы. Номера точек по табл. 4.

В таблице показаны данные о среднемесечном модуле стока в октябре, когда достоверно отсутствуют такие составляющие питания, как жидкие осадки, талые и конденсационные воды. Видно, что этот модуль на левобережье по площади Иньяли-Дебинского синклинория в среднем меньше, чем на правобережье по площади Аян-Юряхского антиклинория, на $1.6 \text{ л}/(\text{с км}^2)$.

Реки, водосборные площади которых охватывают Омудевский и Вилигинский террейны, имеют показатели стока, сходные со значениями на Аян-Юряхском антиклинории.

Для статистической оценки влияния различных факторов на режим стока построены графики связи норм слоя стока за III квартал и слоя минимального 30-суточного стока в летне-осеннюю межень (рис. 3). На графике прямая правобережных притоков лежит выше прямой левобережных, т.е. климатический фактор не единственный, влияющий на минимальный сток.

Обращает на себя внимание и тот факт, что по результатам многолетних наблюдений можно судить о связи величины дождевых паводков в летне-осеннее время с особенностями террейновой тектоники Верхней Колымы. Это проявляется в том, что слой стока за отдельный дождевой паводок левобережных притоков в среднем 28.6 мм , а правобережных — 32.2 мм , т.е. на 12% выше; модуль максимального расхода воды рек левобережья находится в пределах $79\text{--}137 \text{ л}/(\text{с км}^2)$, а правобережья — $96\text{--}921 \text{ л}/(\text{с км}^2)$ (табл. 4).

Слой стока за отдельный паводок отражается на величине общего стока за III квартал (рис. 4), причем кривая рек правобережных притоков лежит выше кривой левобережных. Примерно такой же характер взаимного расположения кривых

связи норм слоя стока и модуля максимального расхода за дождевой паводок.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Полученные количественные показатели режима стока лево- и правобережных притоков р. Колыма в теплый период года свидетельствуют о том, что при сходстве основных географических факторов формирования речного стока в горных районах криолитозоны заметную роль играют особенности геологической истории дренируемых террейнов. Данный факт установлен нами впервые, поэтому предложенные объяснения его проявления носят характер гипотезы. Изучение материалов гидрогеологических и инженерно-геологических работ, выполненных на Верхней Колыме в 1940–1980-х годах, показало, что породы, слагающие Иньяли-Дебинский синклинорий, при выветривании образуют в зоне гипергенеза значительно больше пелитовых и глинистых частиц, чем породы, слагающие Аян-Юряхский антиклинорий, Вилигинский и Омудевский террейны [11]. Эта особенность выветривания отразилась на значениях коэффициента фильтрации аллювиальных отложений в долинах рек Берелех, Чай-Урья, Утиная, Малый Ат-Урях. На глубинах более 0.5 м , т.е. ниже слоя хорошо отмытых галечников, данный показатель меняется от 3.2 до $60 \text{ м}/\text{сут}$, водопроницаемость трещиноватых пород триаса и юры в зонах разломов сквозных таликов — от 0.2 до $35 \text{ м}^2/\text{сут}$.

На площади Аян-Юряхского антиклинория в долинах рек Омчак, Детрин, Тенька, Нерючи, Кулу коэффициент фильтрации аллювиальных отложений глубже отмытого слоя галечников находится в пределах от 33.1 до $120.8 \text{ м}/\text{сут}$. Водо-

Таблица 3. Сведения о режиме меженного стока рек бассейна Верхней Колымы [18]

№ на рис. 1	Река – пункт	Площадь водосбора, км ²	Норма модуля стока, л/с·км ²	
			минимального 30-суточного за летне-осенний период	среднего за октябрь
Левобережье. Иньяли-Дебинский синклинорий				
1	р. Аян-Юрях – пос. Эмтегей	9560	6.73	1.73
2	р. Берелех – пос. Переправа	4980	7.83	1.28
3	р. Берелех – в 5.9 км выше устья р. Мальдяка	5400	7.30	1.20
4	р. Сусуман – п. Тонгара	932	7.07	1.20
5	р. Амбардах – п. Тонгара	135	6.89	0.67
6	р. Талок – устье	65.2	6.13	0.67
7	р. Дебин – устье р. Омчаханджи	1160	8.88	1.44
8	р. Дебин – 1.7 км выше устья р. Бурхала	1740	8.16	1.35
9	р. Дебин – пос. Беличье	3460	7.80	1.47
10	руч. Ягодный - в 3.4 км от устья	100	3.70	0.5
	Среднее	–	7.05	1.13
Левобережье. Омuleвский террейн, Сударский субтеррейн				
11	р. Таскан – пос. Таскан-2	9970	5.2	2.02
Правобережье. Аян – Юряхский антиклинорий				
12	руч. Контактный – Средний	14.2	8.31	0.77
13	руч. Контактный – Нижний	21.2	10.2	1.12
14	руч. Морозова – Водопадный	0.63	12.7	0.00
15	руч. Южный – устье	0.27	5.8	0.15
16	руч. Встреча – устье	5.35	6.73	0.38
17	руч. Северный – лоток	0.38	8.68	0.42
18	р. Нерючи - в 3.4 км ниже устья р. Хиникенджа	825	4.93	2.67
19	р. Кулу – пос. Кулу	10300	10.0	3.89
20	р. Тенке – в 2.2 км выше устья р. Нелькобы	1820	7.36	2.56
21	р. Нелькоба – пос. Нелькоба	2110	11.5	4.88
22	р. Омчак – п. Омчак	151	7.22	0.86
23	р. Омчук – пос. Усть-Омчуг	583	5.57	1.38
24	р. Детрин – устье р. Омчука	3490	8.88	4.13
25	р. Детрин – устье р. Вакханки	5630	9.36	4.01
26	р. Анмангында – Тенькинская трасса, 159 км	400	9.33	4.6
27	р. Вакханка – устье	185	7.14	1.84
	Среднее	–	8.12	2.73
Правобережье. Вилигинский террейн				
28	р. Бохапча – в 5.4 км от устья	13600	7.87	2.95
29	р. Оротукан – п. Оротукан	740	9.95	3.68
	Среднее	–	8.11	3.32

проводимость трещиноватых пермских и триасовых пород – от 25 до 175 м²/сут.

В ходе полевых наблюдений также установлено, что в делювиальных отложениях на горных склонах в пределах Иньяли-Дебинского синкли-

нория в составе заполнителя преобладают супеси и суглинки; а на площади Аян-Юряхского антиклинория, Вилигинского, Омuleвского и Верхоянского террейнов – преимущественно песок с дресвой, реже супесь. Соответственно, ресурсы

Таблица 4. Сведения о режиме стока паводков рек бассейна Верхней Колымы [18]

№№ п/п	Река – пункт	Площадь водосбора, км ²	Модуль максимального расхода, л/(с · км ²)	Слой стока за паводок, мм
Левобережье				
1	р. Аян-Юрях – пос. Эмтегей	9560	79	26
2	р. Берелех – пос. Переправа	4980	86	29
3	р. Сусуман – пос. Тонгара	932	137	30
4	р. Долгий – п. Каменистый	166	87	21
5	р. Амбардах – п. Тонгара	135	195	31
6	р. Дебин – устье р. Омчаханджи	1160	135	36
7	р. Дебин – пос. Беличье	3460	111	30
8	руч. Ягодный – в 3.4 км от устья	100	172	26
Правобережье				
9	руч. Контактный – Верхний	5.53	568	39
10	руч. Контактный – Средний	14.2	354	33
11	руч. Контактный – Нижний	21.2	309	35
12	руч. Морозова – водопадный	0.63	921	37
13	руч. Южный – устье	0.27	407	31
14	руч. Встреча – устье	5.35	250	27
15	руч. Северный – лоток	0.38	289	30
16	р. Омчак – п. Омчак	151	242	36
17	руч. Террасовый – устье руч. Подумай	84	255	31
18	р. Вакханка – устье	185	148	27
19	руч. Кривуля – устье	8.2	232	22
20	р. Кулу – пос. Кулу	10300	80	31
21	р. Тенке – в 2.2 км выше устья р. Нелькобы	1820	109	29
22	р. Нелькоба – пос. Нелькоба	2110	160	35
23	р. Детрин – устье р. Омчука	3490	116	36
24	р. Детрин – устье р. Вакханки	5630	98	36
25	р. Анмангында – Тенькинская трасса, 159-й км	376	182	31
26	р. Омчук – пос. Усть-Омчуг	583	157	29
27	р. Бохапча – в 5.4 км от устья	13600	96	30
28	р. Оротукан – п. Оротукан	740	189	38

воды ЗАВ на Иньяли-Дебинском синклинории меньше, чем на остальной территории. С этим связано отсутствие речного стока в зимнюю межень даже в такой крупной реке, как Берелех с водосборной площадью более 5000 км². На площади Аян-Юряхского антиклинория имеются водотоки с круглогодичным стоком при водосборной площади менее 1000 км². Например, руч. Хиникенджа при водосборе в 160 км² не перемерзает в течение всей зимней межени.

Поскольку террейны отличаются составом и стратиграфической последовательностью геологических комплексов [24], то есть основания предполагать, что в современных гидрогеодина-

мических показателях объектов ЗАВ отражаются минералогические и петрографические особенности накопленных пород чехла террейнов. С этой точки зрения, особенности речного стока левобережных притоков Верхней Колымы объясняются формированием пород ЗАВ на площади турбидитового бассейна, в котором была развита утоненная континентальная, возможно, океаническая кора. Правобережные притоки дренируют террейны, осадочные толщи которых формировались в эпиконтинентальных морях на пассивной континентальной окраине.

Выявленные закономерные проявления террейнового контроля речного стока в горных районах криолитозоны могут нарушаться на локаль-

ных участках в двух случаях. Первый из них возможен в водотоках 1–3-го порядков (по системе Р. Хортона) с каньонообразными или V-образными склонами. В этих водотоках крутосклонный профиль долины и большие уклоны русел обеспечивают быстрое дренирование СТС, поэтому поверхностный сток резко сокращается вплоть до полного исчезновения через 1–2 недели после прекращения дождей. Можно предполагать, что геологические особенности водосбора малых водотоков отразятся только на скорости падения расходов воды в ручьях.

Второй случай проявляется на водотоках средних по водосборной площади рек в относительно малом (аномальном) значении модуля стока в теплое время года и повышенном значении этого коэффициента в октябре. Такой аномальный модуль стока в летне-осеннюю межень р. Нерючи на Аян-Юряхском антиклинории, равен $4.93 \text{ л}/(\text{с км}^2)$, что значительно меньше, чем в водотоках с близкими по размерам водосборными площадями — рр. Омчук, Анмынганда, Вакханка и др. При детальном гидрогеологическом и гидрологическом изучении р. Нерючи (водосборная площадь 825 км^2) установлено, что в реке существует постоянный зимний сток. Не прекращается сток в зимнюю межень и в боковых притоках с площадями водосбора $100\text{--}200 \text{ км}^2$. В этих водотоках выявлены сквозные талики, водовыводящие в холодное время года и водопоглощающие в летнее, что впервые было отмечено А.И. Калабиным [14]. Суммарную протяженность таликов на р. Нерючи С.А. Зув в 2001 г. оценил в 12.5 км при средней ширине около 0.3 км. Наличие значительных по протяженности водопоглощающих сквозных таликов сказывается на уменьшении модуля стока реки в паводки и в летне-осеннюю межень, прежде всего за счет потерь на питание потока подземных вод в сквозном талике. В зимнюю межень сквозные талики становятся водовыводящими и обеспечивают сток поверхностных водотоков. Модуль стока за многолетний период в октябре р. Нерючи равен $2.67 \text{ л}/(\text{с км}^2)$, а ее притоков — до $5.2 \text{ л}/(\text{с км}^2)$. Подобные гидрогеодинамически напряженные участки возникают чаще всего на площади террейнов — фрагментов пассивной континентальной окраины. Генезис их нуждается в дополнительных исследованиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, системный подход к изучению режима стока рек горных районов криолитозоны на примере водосборной площади бассейна Верхней Колымы позволил выявить значимость в формировании водных ресурсов такого фактора, как геологическая история, в том числе и геодинамическая природа дренируемых реками блоков

земной коры (террейнов и субтеррейнов). Влияние этого фактора, предположительно, проявляется в контроле фильтрационных и емкостных свойств водоносных отложений СТС и таликов речных долин, зон трещиноватости как локальных, так и региональных.

При формировании водного стока в теплое время года наиболее благоприятен этот фактор на террейнах пассивной континентальной окраины, наименее — на террейне с утоненной, возможно, океанической корой, испытывавшему длительные сдвигово-коллизионные давления. Реки, его дренирующие, характеризуются средним многолетним модулем минимального стока за 30-суточный период в летне-осеннюю межень $7.05 \text{ л}/(\text{с км}^2)$, а в начале холодного периода года — $1.13 \text{ л}/(\text{с км}^2)$, т.е. на 10–15% меньше соответствующих показателей рек на площади террейнов — фрагментов пассивной континентальной окраины. В начале зимней межени модуль стока рек на террейнах разной геодинамической природы различается почти в 2.5 раза.

По изложенным обстоятельствам можно утверждать, что более глубокое изучение роли геологической истории водосборных площадей необходимо для обоснования соответствующих поправок в расчетах и прогнозах при использовании водных ресурсов, прежде всего, в районах сплошной криолитозоны.

Предложенное авторами объяснение связи террейновой тектоники с речным стоком носит предварительный характер. Возможны более сложные процессы таких взаимосвязей. Допускаем, что новое направление исследований по изучению процессов в системе “вода–порода” целесообразно конкретизировать с учетом геологической истории блоков литосферы. Следует провести специальные гидрологические и гидрохимические работы в горных районах вне криолитозоны для выявления значимости террейновой тектоники в условиях с заведомо более развитой зоной активного водообмена [15].

Считаем, что изучение поверхностного и подземного водного стока даст дополнительные материалы об особенностях тектоники локального района. Не исключена связь гидрогеодинамически активных локальных участков с месторождениями рудных полезных ископаемых. В целом, перспективы более глубокого познания закономерностей формирования водного стока на террейнах с разной геологической историей и тектоникой представляются научно перспективными как для гидрологии и гидрогеологии, так и для инженерной геологии, тектоники, геоэкологии.

Авторы благодарят чл.-корр. РАН, д.г.-м.н. Н.А. Горячева за доброжелательные критические замечания, работа над которыми позволила уточнить представления о тектоническом строении

Верхней Колымы, конкретизировать отдельные выводы, д.г.-м.н. А.С. Бякова за помощь в уточнении особенностей накопления осадков, слагающих Аян-Юряхский антиклинорий и Вилигинский террейн, д.г.-м.н. В.В. Акинина за помощь в обосновании геодинамической природы Иньяли-Дебинского синклиория и Аян-Юряхского антиклинория.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Акинин В.В., Прокопьев А.В., Торо Ж., Миллер Э.Л., Вуден Дж., Н.А. Горячев, Альшеевский А.В., Бахарев А.Г., Трунилина В.А. U-Pb-SHRIMP – возраст гранитоидов Главного батолитового пояса (Северо-Восток Азии) // Доклады академии наук. 2009. Т. 426. № 2. С. 216–221.
2. Бяков А.С. Зональная стратиграфия, событийная корреляция, палеобиогеография перми Северо-Востока Азии (по двустворчатым моллюскам). Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2010. 262 с.
3. Бяков А.С., Ведерников И.Л. Тектонические, седиментологические и геохимические предпосылки формирования золотого оруденения в пермских толщах Аян-Юряхского антиклинория // Золото северного обрамления Пацифики: тез. докл. Междунар. горно-геол. форума. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2008. С. 176–177.
4. Бяков А.С., Прокопьев А.В., Кутыгин Р.В., Ведерников И.Л., Будников И.В. Геодинамические обстановки формирования пермских седиментационных бассейнов Верхояно-Колымской складчатой области // Отечественная геология. 2005. № 3. С. 81–84.
5. Бялобжеский С.Г., Горячев Н.А., Шпикерман В.В. Яно-Колымский орогенный пояс // Геодинамика, магматизм и металлогения Востока Росс в 2-х кн. / Ред. А.И. Ханчук. Владивосток: Дальнаука, 2006. Кн. 1. С. 14–144.
6. Гельман М.Л. Верхояно-Чукотская складчатая область // Метаморфические комплексы Азии. Новосибирск: Наука, 1977. С. 246–253.
7. Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России в 2-х кн. / Ред. А.И. Ханчук. Владивосток, 2006. Кн. 1. С. 20–32.
8. Геология СССР. Т. 30. Северо-Восток СССР. Геологическое описание. М.: Недра, 1970. Кн. 2. 536 с.
9. Гидрогеология СССР. Северо-Восток СССР. Т. 26. М.: Недра, 1972. 297с.
10. Глотов В.Е., Глотова Л.П. Особенности питания рек подземными водами на арктическом склоне Чукотки: теоретические и практические аспекты // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2010. № 1. С. 89–98.
11. Глотов В.Е., Глотова Л.П. Роль террейновой тектоники в формировании подземного стока зоны активного водообмена в долинах горных рек криолитозоны // Тихоокеанская геология. 2011. Т. 30. № 5. С. 93–104.
12. Глотов В.Е., Глотова Л.П. Влияние основания Охотско-Чукотского вулканоплутонического пояса на водные ресурсы зоны активного водообмена // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2013. № 4. С. 69–76.
13. Глотов В.Е., Глотова Л.П., Ушаков М.В. Аномальные изменения режима водного стока реки Колымы в зимнюю межень // Криосфера Земли. 2011. Т. 15. № 1. С. 52–60.
14. Калабин А.И. Вечная мерзлота и гидрогеология Северо-Востока СССР // Тр. ВНИИ-1. Т. 28. Магадан: ВНИИ-1, 1960. 470 с.
15. Кирюхин В.А. Гидродинамическая зональность и кинематические модели подземного стока в горноскладчатых областях // Зональность подземных вод платформенных и горноскладчатых областей. Л.: ГО СССР, 1981. С. 12–25.
16. Королев Ю.Б. Картографирование растительного покрова в связи с оценкой его гидрологической роли (на примере Верхней Колымы): автореф. дисс. ... канд. биол. наук. Днепропетровск, 1985. 24 с.
17. Кузнецов А.С., Насыбулин Ш.С. Особенности формирования стока на реках Верхней Колымы // Сб. науч. тр. МГОМО. Магадан: КУГМС, 1970. С. 52–65.
18. Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. 1. Вып. 17. Бассейны Колымы и рек Магаданской области / Ред. И.С. Якорь. Л.: Гидрометеиздат, 1985. 429 с.
19. Насыбулин Ш.С. Репрезентативность характеристик стока Колымской воднобалансовой станции для территории Верхней Колымы // Природные ресурсы Северо-Востока СССР. Владивосток: БПИ ДВНЦ АН СССР, 1976. С. 32–41.
20. Прикладной климатический справочник / Ред. Н.К. Клюкин. Магадан: Кн. изд-во, 1960. 428 с.
21. Природа многолетних колебаний речного стока. Новосибирск: СО Наука, 1976. 335 с.
22. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 19. Северо-Восток / Ред. В.В. Куприянов. Л.: Гидрометеиздат, 1969. 282 с.
23. Толстихин О.Н. Наледи и подземные воды Северо-Востока СССР / ред. С.М. Фотиев. Новосибирск: СО Наука, 1974. 162 с.
24. Ханчук А.И., Голозубов В.В., Родионов С.М., Горячев Н.А., Симаненко В.П. Теоретические основы тектонического, геодинамического и металлогенетического анализа // Геодинамика, магматизм и металлогения Востока России в 2-х кн. / Ред. А.И. Ханчук. Владивосток, 2006. Кн. 1. С. 20–32.
25. Чехов А.Д., Прусс Ю.В. Почему Иньяли-Дебинский синклиорий является главным местилещем колымского золота? // Золото северного обрамления Пацифики: тез. докл. Междунар. горно-геол. форума. Магадан: СВКНИИ ДВО РАН, 2008. С. 221–222.
26. Шепелев В.В., Толстихин О.Н., Ригузова В.М. и др. Мерзлотно-гидрогеологические условия Восточной Сибири. Новосибирск: СО “Наука”, 1984. 198 с.
27. Lobanov S.A., Ushakov M.V. The river water resources of the Magadan region and their long-term variability // Geography and natural resources. 2008. V. 29. № 3. P. 247–250.
28. Slaughter C.W., Glotov V.E., Viereck L.A., and V.M. Mikhailov. Boreal Forest Catchments: Research Sites for Global Change at High Latitudes // Water, Air and Soil Pollution. 1995. P. 351–361.

RUNOFF OF THE MOUNTAIN RIVERS IN CRYOLITHOZONE IN RELATION TO THE GEOLOGICAL HISTORY OF DRAINED TERRAINES

V. E. Glotov^{a,#}, L. P. Glotova^{a,##}, and M. V. Ushakov^{a,###}

^a*Shilo North-Eastern Complex Research Institute, Far East Branch, Russian Academy of Sciences, Portovaya ul. 16, Magadan, 685000 Russia*

[#]*E-mail: geoecol@neisri.ru*

^{##}*E-mail: glotova@neisri.ru*

^{###}*E-mail: mvilorich@narod.ru*

The differences in the river flow behavior during the open channel period were revealed by the examples of the Kolyma River' left and right tributaries in their upper flows (the Upper Kolyma River). The left tributaries drain mainly the Inyali-Debinsky synclinorium. They are characterized by the smallest average runoff of 7.05 l/(s km²) in the summer- autumn low-water season and by 1.13 l/(s km²) in October. The right tributaries drain mainly Ayan-Yuryakhsky anticlinorium. The average rate of the smallest runoff module for watercourses in the studied catchment area is equal to 8.12 and 2.73 l/(s km²) for the summer-autumn low-water season and October, respectively. During rain floods, the left tributaries' maximal runoff module is 79–137 l/(s km²), and the right ones – 96–921 l/(s km²). The high water flow layers are 21–36 and 22–39 mm, respectively. The results are explained by the fact that the filtration properties, capacitive indices and water loss of loose and fractured formations in the zone of active water exchange are related to the features of the geological history of drained blocks. They are always smaller on blocks of the Earth's crust like the Inyal-Debinsky synclinorium. Their geological history is characterized by the accumulation of deep-sea sediments in the troughs on a refined continental or oceanic crust with subsequent collisions. For the modern active water exchange, the Verkhoyansk passive continental margins are more favorable, the Omulevsky terrain is a fragment of the passive continental slope, the Viliginsky terrain is a fragment of the backwater basin. The rivers, their drainage – Kulu, Tuskan, Bohapcha, Vyliga, are characterized by increased runoff rates both in the summer-autumn period and at the beginning of the winter season of the year. A complex of further studies on the study of river drainage linked to the features of terrains' tectonics is indicated.

Key words: *the Upper Kolyma River, mountain areas, permafrost zone, runoff, the active water exchange, terrains, runoff modulus, low water, high water*

REFERENCES

1. Akinin, V.V., Prokopiev, A.V., Toro, J., Miller, E.L., Wooden, J., Goryachev, N.A., Al'shevskii A.V., Bakharev, A.G., Trunilina, V.A. *U-Pb-SHRIMP-vozrast granitoidov Glavnogo batolitobogo poyasa (Severo-Vostok Azii)* [U-Pb-SHRIMP – age of granitoids of the Main batholithic belt (the Northeast Asia)]. *Doklady Akademii nauk*, 2009, vol. 26, no. 2, pp. 216–221. (In Russian).
2. Byakov, A.S. *Zonal'naya stratigrafiya, sobytiynaya korrelyatsiya, paleobiogeografiya permi Severo-Vostoka Asii (po dvukhstvorchatym moll'yuskam)* [Zonal stratigraphy, event correlation, paleobiogeography of the Permian of Northeast Asia (based on bivalves)]. Magadan: SVKNII DVO RAN, 2010, 262 p. (in Russian).
3. Byakov, A.S., Vedernikov I.L. *Tektonicheskie, sedimentologicheskie i geokhimicheskie predposylki formirovaniya zolotogo orudneniya v permskikh tolshchakh Ayan-Yuryakhskogo antiklinoriya* [Tectonic, sedimentary and geochemical forming conditions for gold lodes hosted in Permian rock sequences of Ayan-Yuryak Anticlinorium]. *Zoloto severnogo obramleniya Pacifiki: tezisy dokladov Mezhdunar. Gorno-geolog. Foruma. (Magadan, 10-14.09.2008 g.)* [The gold of the northern Pacific frame. Abstarct of International Forum in Mining and Geology]. Magadan, SVKNII DVO RAN, 2008, pp. 176–177 (in Russian).
4. Byakov, A.S., Prokop'ev, A.V., Kutygin, R.V., Vedernikov, I.L., Budnikov, I.V. *Geodinamicheskie obstanovki formirovaniya permskikh sedimentatsionnykh basseinov Verkhoyano-Kolymskoi skladchatoi oblasti* [Geodynamic conditions of the Permian sedimentary basins formation in the Verkhoyansk-Kolyma folded region]. *Otechestvennaya geologiya*, 2005, no. 3, pp. 81–84. (in Russian).
5. Byalobzheskii, S.G., Goryachev, N.A., Shpikerman, V.V. *Yano-Kolymskii orogennyi poyas* [Yano-Kolyma orogenic belt]. *Geodinamika, magmatizm i metallogeniya Vostoka Rossii* [Geodynamics, magmatism and metallogeny of the Russia's East], V.I. Hanchuk, Ed., Vladivostok, Dal'nauka, 2006, book 1, pp. 140–144. (in Russian).
6. Gel'man, M.L. *Verkhoyano-Chukotskaya skladchataya oblast'* [Verkhoyano-Chukotka folded region. *Metamorficheskie komplekсы Azii* [Metamorphic complexes in Asia]. Novosibirsk, Nauka, 1977, pp. 246–253. (in Russian).
7. *Geodinamika, magmatizm i metallogeniya Vostoka Rossii* [Geodynamics, magmatism and metallogeny of the East of Russia]. V.I. Hanchuk, Ed., in 2 books. Vladivostok, Dal'nauka, 2006, book 1, pp. 20–32. (in Russian)
8. *Geologiya SSSR. Tom 30. Severo-Vostok SSSR. Geologicheskoe opisanie* [Geology of the USSR. USSR North-East. Geological description.]. Moscow, Nedra, 1970, book 2, 536 p. (in Russian)

9. *Gidrogeologiya SSSR. Tom 26. Severo-Vostok SSSR* [Hydrogeology of the USSR. Vol. 26. USSR North-East]. Moscow, Nedra, 1972, 297 p. (in Russian)
10. Glotov, V.E., Glotova, L.P. *Osobennosti pitaniya rek podzemnymi vodami na arkticheskom sklone Chukotki: teoreticheskie i prakticheskie aspekty* [Ground water alimentation of rivers on the Arctic slope in Chukotka: theoretical and practical aspects]. *Vestnik SVNZ DVO RAN*, 2010, no 1, pp. 89–98. (in Russian)
11. Glotov, V.E., Glotova, L.P. *Rol'terreinovoi tektoniki v formirovanii podzemnogo stoka zony aktivnogo vodoobmena v dolinakh gornyykh rek kriolitozony* [Terrain tectonics in the formation of the groundwater runoff in the active water-exchange zone of mountainous river valleys in the cryolithozone]. *Tikhookeanskaya geologiya – Russian Journal of Pacific Geology*, 2011, vol. 30, no. 5, pp. 93–104. (in Russian)
12. Glotov V.E., Glotova L.P. *Vliyanie osnovaniya Okhotsko-Chukotskogo vulkano-plutonicheskogo poyasa na vodnye resursy zony aktivnogo vodoobmena* [Influence of the Okhotsk-Chukotka volcanic-plutonic belt basement on water resources of the active water exchange zone]. *Vestnik SVNZ DVO RAN*, 2013, no. 4, pp. 67–75. (in Russian)
13. Glotov, V.E., Glotova, L.P., Ushakov, M.V. *Anomal'nye izmeneniya rezhima vodnogo stoka reki Kolymy v zimnjuju mezen'* [Abnormal changes in the Kolyma-river runoff condition in winter low-water period]. *Kriosfera Zemli – Earth's Cryosphere*, 2011, vol. 15, no. 1, pp. 52–60. (in Russian)
14. Kalabin, A.I. *Vechnaya merzlota i gidrogeologiya Severo-Vostoka SSSR* [Permafrost and hydrogeology of the North-East USSR]. *Trudy VNI-I. Magadan, VNI-I*, 1960, vol. 28, 470 p. (in Russian)
15. Kiryukhin, V.A. *Gidrodinamicheskaya zonal'nost' i kinematicheskie modeli podzemnogo stoka v gornoskladchatykh oblastyakh* [Hydrodynamic zoning and kinematic models of underground runoff in the mountain-folded regions]. *Zonal'nost' podzemnykh vod platfirmennykh i gornoskladchatykh oblastei*. Leningrad, GO SSSR, 1981, pp. 12–25. (in Russian)
16. Korolev, Yu.B. *Kartografirovaniye rastitel'nogo pokrova v svyazi s ozenkoi ego gidrologicheskoi roli (na primere Verkhnei Kolymy)* [Mapping the vegetation cover in connection with the assessment of its hydrological role (on the example of the Upper Kolyma)]: Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Diss. Dnepropetrovsk, 1985. 24 p. (in Russian)
17. Kuznetsov, A.S., Nasybulin, Sh.S. *Osobennosti formirovaniya stoka na rekakh Verkhnei Kolymy* [Features of runoff formation in the rivers of the Upper Kolyma]. *Sb. nauchnykh trudoobot MGMO*, 1970, pp. 52–65. (in Russian)
18. *Mноголетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т.1. Вып. 17. Бассейн р. Колыма и рек Магаданской области* [Long-term data on the regime and resources of surface waters. Volume 1, issue 17. River basins in Kolyma and Magadan region]. Yakor' I.S. Ed., Leningrad, Gidrometeoizdat, 1985, 430 p. (in Russian)
19. Nasybulin, Sh.S. *Representativnost' kharakteristik stoka Kolymskoi vodnobalansovoi stantsii dlya territorii Verkhnei Kolymy* [Representativeness of the runoff characteristics of the Kolyma water-balance station for the territory of Upper Kolyma]. *Prirodnye resursy Severo-Vostoka SSSR*. Vladivostok: BPI DVNZ AN SSSR, 1976, pp. 32–41. (in Russian)
20. *Prikladnoi klimatologicheskii spravochnik Severo-Vostoka SSSR* [Applied climatological reference of the North-East USSR]. N.K. Klyukin, Ed., Magadan, Kn. Izd-vo, 1960. 428 p. (in Russian)
21. *Priroda mnogoletnikh kolebanii rechnogo stoka* [Origin of perennial fluctuations in the river runoff]. Novosibirsk, SO Nauka, 1976, 335 p. (in Russian)
22. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. T. 19. Severo-Vostok* [Resources of surface waters of the USSR. Vol. 19. North-East]. V.V. Kupriyanov, Ed., Leningrad, Gidrometeoizdat, 1969. 282 p. (in Russian)
23. Tolstikhin, O.N. *Naledi i podzemnye vody Severo-Vostoka SSSR* [Icings and groundwater in the North-East of the USSR]. S.M. Fotiev, Ed., Novosibirsk, SO Nauka, 1974. 162 p. (in Russian)
24. Khanchuk, A.I., Golozubov, V.V., Rodionov, S.M., Goryachev, N.A., Simanenkov V.P. *Teoreticheskie osnovy tektonicheskogo, geodinamicheskogo i metallogenicheskogo analiza* [Theoretical foundations of tectonic, geodynamic and metallogenic analysis]. *Geodinamika, magmatizm i metallogenija Vostoka Rossii*. Vladivostok, Dal'nauka, 2006, book 1, pp. 20–32. (in Russian)
25. Chekhov, A.D., Pruss Yu.V. *Pochemu In'yali-Debinskii sinklinorii yavilsya glavnym vmestilishchem kolymskogo zolota?* [Why was the Inyali-Debinsky synclinerium a major repository of the Kolyma gold?]. *Zoloto severnogo obramleniya Pacifiki: tezisy dokladov Mezhdunar. gorno-geolog. Foruma. (Magadan, 10–14.09.2008 g.)* [The gold of the northern Pacific frame. Abstract of International Forum in Mining and Geology]. Magadan, SVKNII DVO RAN, 2008, pp. 221–223. (in Russian)
26. Shepelev, V.V., Tolstikhin, O.N., Pigusova, V.M. *Merzlotno-gidrogeologicheskie usloviya Vostochnoi Sibiri* [The permafrost-hydrogeological conditions of Eastern Siberia]. Novosibirsk, SO Nuka, 1984, 198 p. (in Russian)
27. Lobanov, S.A., Ushakov, M.V. *The river water resources of the Magadan region and their long-term variability*. *Geography and natural resources*, 2008, vol. 29, no 3, pp. 247–250.
28. Slaughter, C.W., Glotov, V.E., Viereck, L.A., and Mikhailov, V.M. *Boreal forest catchments: research sites for global change at high latitudes*. *Water, air and soil pollution*, 1995, pp. 351–361.