

ПОВЕРХНОСТНЫЕ И ПОДЗЕМНЫЕ ВОДЫ КРИОЛИТОЗОНЫ

УДК 556.332.62:556.168 (282.256.86)

РОЛЬ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ФОРМИРОВАНИИ СТОКА РЕК БАСЕЙНА
ПРИМАГАДАНСКОГО ШЕЛЬФА

В.Е. Глотов, Л.П. Глотова

Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт ДВО РАН,
685000, Магадан, ул. Портовая, 16, Россия; geocol@neisri.ru, glotova@neisri.ru

Впервые охарактеризованы особенности подземного питания рек Примагаданья в теплый и холодный периоды года. Отмечено, что доля участия подземных вод в общем годовом речном стоке велика и достигает 29 % и более. Она возрастает по мере уменьшения водосборной площади водотока. Зона свободного водообмена, воды которой питают реки, включает водоносный сезонноталый слой, потоки грунтовых вод в надмерзлотных и сквозных таликах, подмерзлотные воды зоны гипергенной трещиноватости. Показано, что в отдельные годы закономерное уменьшение расхода рек в зимние месяцы эпизодически прерывается их увеличением. Авторы объясняют эти явления кратковременными колебаниями объема емкостного пространства в трещинных коллекторах, вызываемыми преобразованиями напряженного состояния литосферных блоков.

Прерывистая криолитозона, речной сток, подземные воды, режим питания, зимняя межень, зона активного водообмена

ROLE OF GROUNDWATER IN THE FORMATION OF RIVER RUNOFF BASIN
IN THE PRIMAGADANSKY SHELF

V.E. Glotov, L.P. Glotova

North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute, FEB RAS,
685000, Magadan, Portovaya str., 16, Russia; geocol@neisri.ru, glotova@neisri.ru

For the first time the particularities of the underground feeding of the Primagadaniya rivers in warm and cool periods of the year have been characterized. It has been marked that the share of groundwater in the total annual runoff is high enough and reaches 29 % and more. It increases with decreasing catchment area. The waters of the zone of free water exchange feed the rivers. This aquifer includes the seasonally thawed layer, the flows of groundwater in closed and open taliks, the subpermafrost waters of the supergene fractured zone. It has been demonstrated that the natural reduction of the discharge of rivers in winter months is occasionally broken by their increase. The authors explain these phenomena by short-term fluctuations of the volume of capacitive space in the fissure collector, caused by the transformations of the stress condition of lithosphere blocks.

Discontinuous permafrost, runoff, underground water, condition of the feeding, winter lowest water level, zone of active water exchange

ВВЕДЕНИЕ

Часть Северо-Охотоморского шельфа, прилегающего к Магаданской области и протягивающегося примерно на 1500 км от п-ова Лисянского на западе до п-ова Елистратова на востоке получила название Примагаданского шельфа (рис. 1). Соответственно водосборную площадь рек бассейна стока акватории шельфа, равную 115,5 тыс. км², мы называем Примагаданьем. Здесь протекает около 450 водотоков, наиболее крупный из них – р. Тауй – имеет водосбор 25,5 тыс. км². Общий

объем речной воды, поступающий в море за год, равен 40 км³, включая подземные воды, долю которых определяют примерно в 20 % от общего стока (8 км³) [*Государственный доклад...*, 2011]. Это соответствует модулю подземного стока в 2,2 л/(с·км²), что близко к оценкам О.Н. Толстихина [1974] и В.М. Пигузовой [1972]. Такие данные приняты во многих обобщающих работах, например, В.В. Кулакова [1990], Н.В. Болдовского [2003]. При этом главным признаком для выделе-

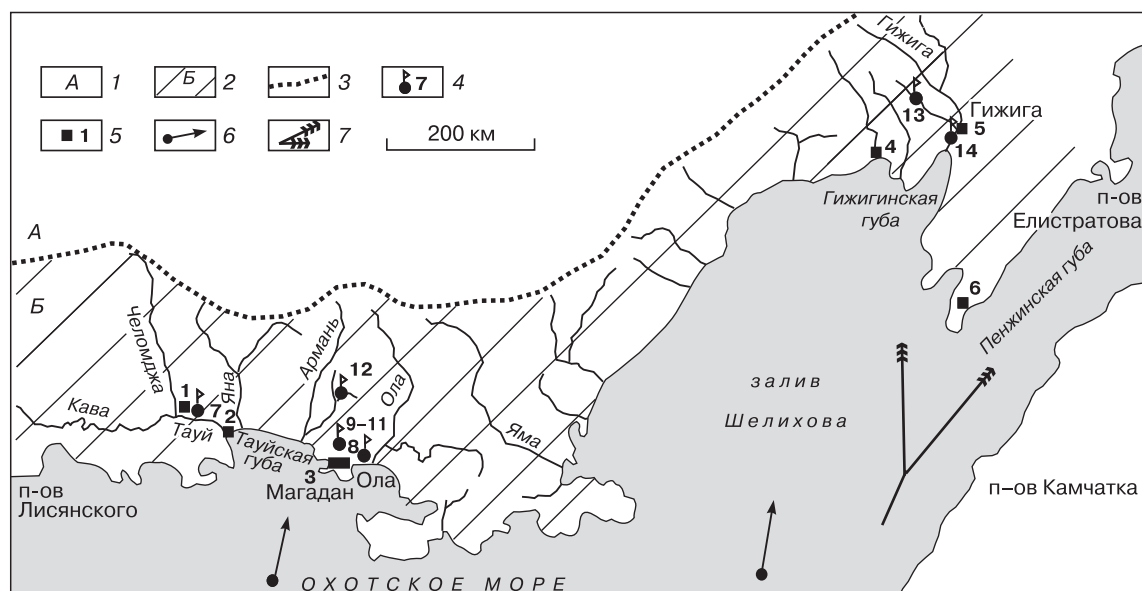


Рис. 1. Схематическая карта водосбора Примагаданского шельфа:

1 – водосборная площадь р. Колыма; 2 – водосборная площадь Примагаданского шельфа; 3 – линия водораздела; 4 – гидрометрический пост и его номер (см. текст); 5 – метеостанция с длительностью наблюдений более 10 лет и ее номер (см. текст); 6 – траектории тихоокеанских циклонов; 7 – направление тихоокеанского течения.

ния основных районов формирования ресурсов подземных вод зоны свободного водообмена на площади развития толщи многолетнемерзлых пород (ТМП), в том числе в Примагаданье, считался геолого-структурный. Поэтому подземный сток с характеризуемой территорией относили не к бассейну Охотского моря, а к южной части Охотско-Чукотского пояса вулканогенных супербассейнов. Действительно, геологический фактор играет важную роль в формировании подземных вод зоны свободного водообмена в горных районах криолитозоны, в том числе на Северо-Охотоморском побережье [Глотов, Глотова, 2008a]. Тем не менее в региональном плане этот фактор подчинен географическому фактору, который контролирует механизм тепловлагопереноса из акватории круглогодично покрытого льдами Северного Ледовитого (Арктического) океана и гидротермически активного Тихого океана. На площади бассейна стока рек, впадающих в Охотское и Берингово моря (Циркумтихоокеанская область стока – ЦТО), режим и объем поступления тепла и влаги на дневную поверхность существенно отличаются от наблюдаемых климатических стокоформирующих параметров на площадях водосбора Восточно-Сибирского и Чукотского морей (Циркумарктическая область стока – ЦАО) [Глотов, Глотова, 2011]. Только при учете данного обстоятельства можно выявить влияние геологического фактора, который проявляется и в зоне свободного водообмена.

Выяснить роль подземных вод в питании рек бассейна Примагаданского шельфа и участие в этом процессе географического, геокриологического и геологического факторов является целью настоящей работы. Для достижения ее использованы результаты авторских исследований, многолетних наблюдений на гидрометрических постах Колымского территориального управления гидрометеослужбы (КУГМС), опубликованные в ряде справочников [Основные... характеристики..., 1978; Многолетние данные..., 1985], материалы поисков и разведки месторождений подземных вод на морском побережье, отчеты о которых хранятся в Магаданском территориальном фонде геологической информации.

ОСОБЕННОСТИ ПРИРОДНЫХ ФАКТОРОВ ФОРМИРОВАНИЯ ВОДНОГО СТОКА

Достаточно очевидно, что гидрогеологические и гидрологические особенности любой территории в естественных условиях определяются спецификой основных стокоформирующих факторов. К их числу на исследуемой территории относятся географический, геологический и гидрогеологический, климатический и геокриологический факторы. Они подробно описаны в ряде публикаций [Белый, 1998; Ландшафты..., 2006; Глотов, Глотова, 2008б; Глотов, 2009], поэтому мы остановимся только на их отличительных чертах, непосредственно контролирующих те или иные про-

цессы формирования общего речного стока, прежде всего разгрузку подземных вод в водотоки.

Географический фактор проявляется в том, что территория Примагаданья является преимущественно гористой. Поэтому все реки относятся к типу горных, даже в тех случаях, когда долины их заложены в межгорных впадинах. Уклоны рек повсеместно превышают $0,03^\circ$, скорость течения 1–2 м/с и более, в составе аллювиальных отложений преобладают гравийно-галечниковые с песчаным, реже супесчаным, заполнителем.

Заозеренность территории не превышает 0,1 %. При этом наиболее крупные озера – Глухое, Солёное – находятся вблизи побережья и являются отшнурованными лагунами.

Для формирования речного стока важно то, что Охотское море протягивается в меридиональном направлении, что позволяет тепловлагонесущим циклонам из акватории Тихого океана достигать северного побережья, удаленного от океана почти на 2,5 тыс. км.

Особенности *климатических условий* создаются субмеридиональными циклонами и переносом тепла Тихоокеанским (западно-камчатским) течением. По этой причине на Охотоморском побережье повсеместно более теплая температура и больше осадков, чем в бассейне р. Колыма, даже на одних и тех же широтах. Самая низкая среднегодовая температура воздуха на морском побережье в пределах Магаданской области зафиксирована в пос. Талон, в 33 км севернее устья р. Тауй, наиболее высокая – на посту Тайгонос (табл. 1).

В табл. 1 приведены наиболее репрезентативные данные о климатических особенностях побережья. Обратим внимание, что на широтах севернее 60° с.ш. среднегодовая минимальная температура воздуха на 2°C , а максимальная из отрицательных на 1°C выше, чем на более южных. Это превышение вызывается двумя источниками. Первый – относительно теплое течение тихоокеанских вод (температура их в зимнее время $+3^\circ\text{C}$), которое начинается от северных проливов Куриль-

ской островной гряды и, проходя вдоль западной Камчатки, достигает горловины Пенжинской губы. Затем поток сворачивает на северо-запад, доходя до берегов Гижигинской губы, где течение рассеивается [Ковалев, 1970].

Другой источник тепла и осадков – тихоокеанские циклоны, траектории которых ортогональны по отношению к морскому побережью на участке от устья р. Охота на западе до устья р. Яма, имеющего координату, близкую к 60° с.ш. Восточнее устья р. Яна основные географические объекты (Охотско-Колымский водораздел, залив Шелихова, Пенжинская и Гижигинская губа) меняют субширотное простирание на северо-восточное. В этом направлении смещаются и траектории тепловлагонесущих циклонов, что приводит к уменьшению выпадающих осадков на побережье залива Шелихова при общем циклоническом увеличении температуры воздуха, которое накладывается на тепловое воздействие океанического течения. Рассмотренные особенности климатических условий Примагаданья отразились и на площадном распространении таких параметров ТМП, как ее мощность и прерывистость.

Геологическое строение характеризуемого района определяется тем, что большая часть его площади занята эффузивными покровами Охотско-Чукотского вулканогенного пояса. В его состав включены массивы гранитов и гранодиоритов. Терригенные и туфогенные образования позднепермского, триасового и юрского возрастов слагают фрагменты Вилигинского и Кони-Тайгоносского террейнов. В зоне глубинных разломов (рифтов) сформировались осадочные бассейны с кайнозойским чехлом терригенных пород, входящие в состав Ямско-Тауйского и Гижигинского осадочных бассейнов. С геодинамических позиций изучаемый район расположен в зоне коллизии Евразийской, Охотоморской и Северо-Американской плит. Активные движения в этой зоне происходят до сих пор, о чем свидетельствует ее сейсмическая активность [Ландшафты..., 2006].

Таблица 1. Стокоформирующие климатические показатели на Северо-Охотоморском побережье

Номер (см. рис. 1)	Метеостанция	Удаленность от моря, км	Северная широта	Климатические показатели			
				Среднегодовые		Осадки, мм	
				температура воздуха, $^\circ\text{C}$	осадки, мм	сентябрь	октябрь
1	Талон	33	$59^\circ46'$	-7,2	678	87	87
2	Балаганное	1,0	$59^\circ38'$	-5,3	555	87	70
3	Бух. Нагаева	0,5	$59^\circ33'$	-3,5	558	78	104
4	Наяхан	1,5	$61^\circ55'$	-4,5	463	52	75
5	Пост Гижига	25	$62^\circ04'$	-5,2	346	33	41
6	Тайгонос	0,5	$60^\circ41'$	-2,8	318	61	90

Примечание. Составлена по материалам Прикладного климатологического справочника [1960] и по данным КУГМС.

В соответствии с геологическим строением здесь развиты гидрогеологические массивы, адмассивы, вулканогенные супербассейны с трещинными водами зоны гипергенеза (зоны выветривания) и трещинно-жильными водами зон тектонической трещиноватости. Осадочные бассейны в гидрогеологическом отношении являются артезианскими (АБ) с порово-пластовыми и порово-трещинно-пластовыми типами водоносности пород (рис. 2) [Глотов, Глотова, 2008а].

Горные склоны и их подножия покрыты сезонно-водоносными щебенчатыми, дресвяно- или глыбово-щебенчатыми образованиями разного происхождения, преимущественно делювиального и коллювиального. В долинах рек и ручьев грунтовые воды залегают преимущественно в аллювиальных гравийно-галечниковых отложениях.

Геокриологические условия. В соответствии с теоретическими представлениями С.М. Фотиева [1978, 2009] и Н.Н. Романовского [1993], изучаемая территория относится к южной геокриологической зоне прерывистого и островного распространения ТМП. Однако по соотношению мощности ТМП и глубины развития гипергенной трещиноватости Примагаданья можно разделить на два подрайона – севернее 60° с.ш. и южнее.

Севернее 60° с.ш. в горных районах побережья породы на водоразделах проморожены до значительных глубин. Например, в верховьях р. Турмча (бассейн р. Гижига) на вершине водораздела примерно в 30 км севернее берега моря мощность ТМП достигает 450 м. Вниз по склону она сокращается до 10–15 м в основании. Глубина сезонного оттаивания (мощность сезонноталого слоя – СТС) на склонах достигает 3 м. Установлено, что в днищах водотоков второго и большего порядков (по Р. Хортону) образовались сквозные талики. Водоносными являются аллювиальные гравийно-галечниковые отложения мощностью до 10 м и трещиноватые породы зоны гипергенеза. Глубина сезонного промерзания 4,5 м. Боковые границы сквозных таликов не субвертикальные, как, например, в колымских районах, а имеют уклон под водораздел. В поперечном сечении такой талик представляет собой трапецию, нижнее основание которой в 3–5 раз больше верхнего (рис. 3, А). По нашему мнению, такое строение сквозного талика является характерным признаком южной геокриологической зоны в пределах ЦТО. Это связано с отепляющим воздействием воды, накопленной в теплое время года в делювиальных и коллювиальных щебенчатых и дресвяных образованиях у под-

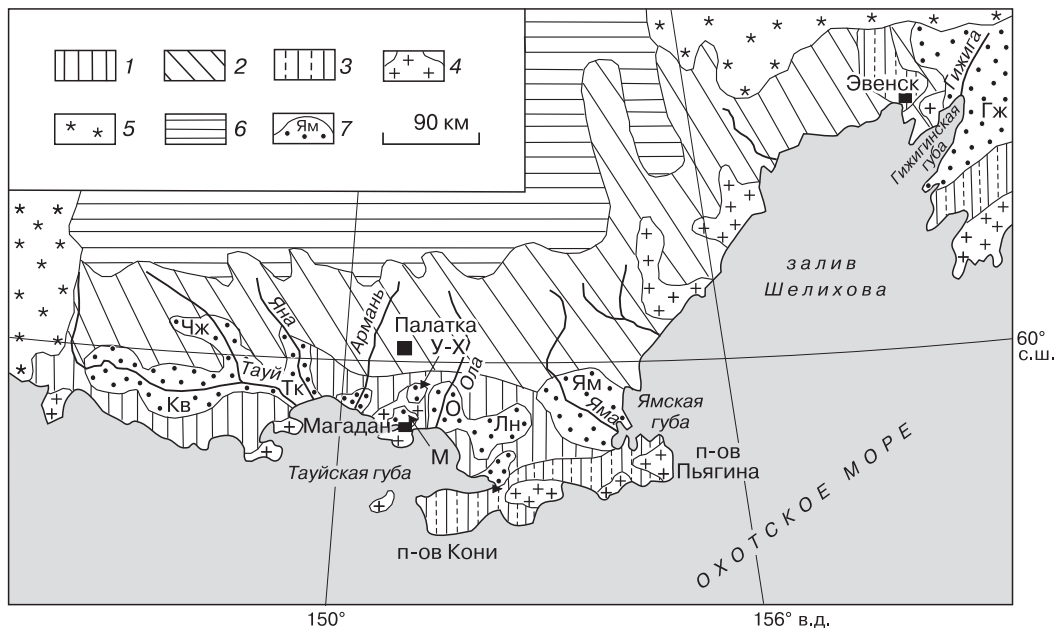


Рис. 2. Структурно-гидрогеологическая схема Примагаданья [Глотов, Глотова, 2008б]:

1, 2 – система вулканогенных супербассейнов, вулканогенных массивов и бассейнов трещинных и трещинно-жильных вод Охотско-Чукотского пояса (1 – внутренняя зона, 2 – внешняя зона); 3 – адмассивы Вилигинского и Кони-Тайгоносского террейнов; 4, 5 – гидрогеологические массивы трещинных и трещинно-жильных вод, приуроченных к интрузивным массивам (4) и к дорифейским срединным массивам (5); 6 – Яно-Колымская гидрогеологическая складчатая область; 7 – артезианские бассейны с мезо-кайнозойским и кайнозойским осадочным чехлом с порово-пластовыми, порово-трещинными и трещинно-пластовыми водами (Кв – Кавинский, Чж – Челомджинский, Тк – Тауйский, О – Ольский, Лн – Ланковский, У-Х – Уптаро-Хасынский, М – Магаданский, Ям – Ямский, Гж – Гижигинский).

ножий склонов, и выпадением осадков в октябре, т. е. в начале зимней межени.

Низменности севернее 60° с.ш. распространены в нижних течениях рек Гижига, Вилига, Тахтояма. Здесь ТМП встречается обычно на междуречьях, под руслами развиты сквозные талики. Многолетнемерзлые породы (ММП) вскрыты скважинами и вблизи морского берега. Например, в приустьевой части р. Гижига подошва ТМП находится на глубинах 28–45 м. С удалением от моря мощность ТМП возрастает до 120 м и более. В долинах водотоков первого порядка (по Р. Хортону) развиваются надмерзлотные талики, сложенные обводненными песчано-гравийно-галечниковыми отложениями, часто с супесчаным цементом.

Южнее 60° с.ш. в горных районах Примагаданья ТМП также имеет прерывистое распространение, но породы на водоразделах проморожены до глубины не более 100 м, реже до 150 м. К нижним частям склонов мощность ТМП сокращается до 5–10 м. Сквозные талики существуют под руслами всех водотоков. Они выявлены и на горных склонах южной экспозиции вне связи с водотоками. Такие талики приурочены к зонам тектонической трещиноватости [Зуев, 1995]. По результатам бурения скважин, глубина развития гипергенной трещиноватости больше современной мощности ТМП на склонах гор и на приводораздельных участках. Это определяет повсеместную обводненность зоны гипергенеза (см. рис. 3, Б).

В низменностях южнее 60° с.ш. параметры ТМП контролируются составом пород, залегающих вблизи дневной поверхности. Если породы представлены гравийно-галечниковыми разностями с песчаным заполнителем, с хорошими фильтрационными свойствами, а мощность их достигает 50–60 м и более, то ММП отсутствуют не только вблизи морского побережья, но и на междуречных пространствах, в том числе на удалении 30–40 км от моря (в Тауйском АБ на междуречье Тауй–Яна, в Магаданском и Уптаро-Хасынском АБ). Встреченные здесь острова ММП мощностью до 40 м сложены теми же грубообломочными отложениями, но с супесчаным или суглинистым цементом, коэффициент фильтрации их менее 2–3 м/сут, чаще десятые и сотые доли метра в сутки. Глубина сезонного оттаивания в таких отложениях достигает 2,0–2,5 м. Например, в Магаданском АБ Нагаевско-Магаданский водораздел сложен водопроницаемыми песчано-гравийно-галечниковыми отложениями миоценового возраста. При средней годовой температуре поверхности почвы –3,5 °С грунты талые с линзами и перелетками ММП техногенного происхождения. Если же с поверхности развиты песчано-глинистые или преимущественно глинистые отложения олигоцен-среднемиоценового возраста, то вблизи

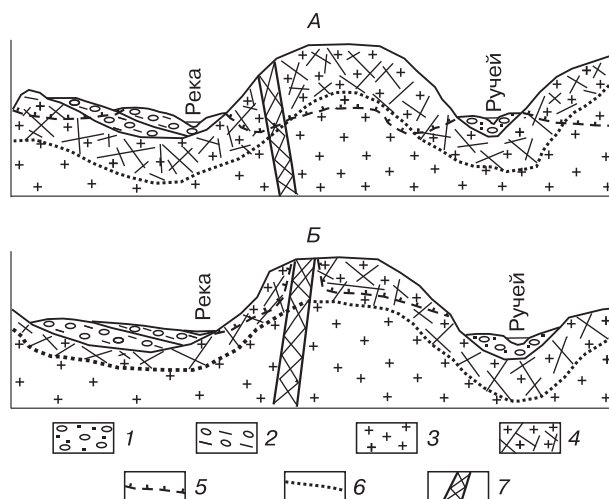


Рис. 3. Схематические геокриологические разрезы на площади Примагаданья:

А – севернее 60° с.ш.; Б – южнее 60° с.ш.; 1 – рыхлые, преимущественно аллювиальные отложения четвертичного возраста; 2 – рыхлые кайнозойские отложения; 3 – гидрогеологические массивы; 4 – гидрогеологические массивы в зоне гипергенеза; 5 – нижняя граница многолетнемерзлых пород; 6 – подошва зоны гипергенеза; 7 – зона разлома.

морского побережья мощность ТМП достигает 100–120 м (в нижнем течении р. Армань) и даже 345 м (в 25 км севернее морского берега в бассейне р. Ола). В последнем случае проморожен приподнятый блок существенно глинистых олигоценовых пород, окруженный талыми песчаными и гравийно-галечниковыми отложениями неогена и плейстоцена. Современная температура многолетнемерзлых пород в подошве яруса годовых теплооборотов, при аномально больших для района значениях мощности ТМП, обычно –1,5 °С и выше. Мы считаем такие блоки промороженных пород реликтами сплошного и более глубокого промерзания недр в позднем плейстоцене в период сартанского криохрона [Готов, 2009].

Изучение закономерностей пространственного распространения ТМП на Северо-Охотоморском побережье позволяет сделать вывод, что в данном районе прерывистость и мощность ее контролируются климатическими условиями, прежде всего величиной выпадающих атмосферных осадков, а также фильтрационными свойствами приповерхностных слоев и их мощностью. Если последняя превышает глубину сезонного промерзания, то мощность ММП при прочих равных условиях сокращается, возникает сквозной талик. В свою очередь параметры ТМП отражаются на количественных показателях участия подземного стока в питании рек.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗУЧЕНИЯ РОЛИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД В ПИТАНИИ РЕК ПРИМАГАДАНЫЯ

Широко распространенное мнение о малом участии подземных вод в питании рек Северо-Востока России основано на том, что при расчетах исключали подземные воды СТС, которые принимали за склоновый сток, т. е. за воды, стекающие в реки по поверхности этого слоя. В определенных условиях это имеет место в самом начале таяния снежного покрова при мерзлом состоянии пород СТС. Однако, как показали наблюдения А.С. Кузнецова и Ш.С. Насыбулина в бассейне р. Кулу на площади Колымской водно-балансовой станции, при достижении глубины протаивания на склонах около 20 см поверхностный склоновый сток полностью трансформируется в грунтовой, даже при обильных и продолжительных дождях [Кузнецов, Насыбулин, 1970]. В Примагданья в бассейне р. Гижига на всех склонах протаивание достигает глубины 20 см к концу второй декады июня, а в бассейне р. Магаданка – в конце первой декады июня. Наши наблюдения в бассейнах рек Магаданка, Дукча, Каменушка показывают, что примерно до конца июля в речном стоке участвуют воды от таяния снежников и наледей, но в августе весь сток обеспечивается подземными водами, в том числе СТС и грунтовыми на участках таликов [Глотов, 2002].

С учетом изложенных представлений была рассчитана реальная доля подземных вод в общем речном стоке на площади Примагданья методом генетического расчленения годового гидрографа стока. Результаты расчета представлены в табл. 2. Судя по данным табл. 2, общая закономерность проявилась в том, что в естественных условиях Примагданья доля подземного стока в общем

речном стоке возрастает по мере уменьшения водосборной площади.

При наступлении холодного сезона года в естественных условиях (при малой заозеренности) на водосборных площадях водотоков ресурсы пресных подземных вод срабатываются, что сказывается на уменьшении речного стока от начала зимней межени до ее окончания по кривой, соответствующей графику логарифмической функции.

Для изучения особенностей потери стока в холодный период года в разных реках мы ввели понятие показателя потери речного стока (ППРС). Этот показатель отражает, во сколько раз уменьшился расход воды в водотоке в учетный месяц зимней межени относительно предшествующего. За начало отсчета принят последний месяц теплого периода года – сентябрь. Данные о величине ППРС представлены в табл. 3. Здесь же приведены данные о его величине для рек с круглогодичным стоком бассейна Верхней Колымы. Это позволило выполнить масштабную оценку показателя для рек со сходными орографическими условиями, но расположенных в Циркумарктической области стока. Например, отчетливо видно, что ППРС рек Примагданья в октябре почти в два раза меньше, чем рек Верхней Колымы (см. табл. 3). Объясняется это тем, что общий объем водоносных отложений в СТС и таликах на речных водосборах Примагданья почти вдвое больше, чем в верхнеколымских реках.

В январе–марте после промерзания пород СТС и образования сезонномерзлого слоя (СМС) среднемесячный объем стока в реках Северо-Охотоморского побережья также уменьшается медленнее, чем в Верхнеколымском районе. Это отражает возможное участие в питании рек Примага-

Таблица 2. Подземный сток в водотоки Примагданья

Номер (см. рис. 1)	Река, пост	Площадь водосбора, км ²	Средний годовой модуль стока, л/(с·км ²)		Доля подземного стока в общем речном, %
			общий речной	в т.ч. подземный	
<i>Участок побережья севернее 60° с.ш.</i>					
14	Гижига, 20 км выше устья	1175	13,3	3,8	29
13	Туромча, 5 км выше устья	188	24,9	10,0	40
<i>Участок побережья южнее 60° с.ш.</i>					
7	Тауй, пос. Талон	25 100	14,5	5,8	40
8	Дукча, устье	330	16,1	8,8	55
9	Магаданка, г. Магадан, устье р. Каменушка	74,7	19,5	12,0	61,5
10	Каменушка, 3,3 км выше плотины	58,8	16,3	12,5	76,3
11	Руч. Спутник	2,25	16,6	12,7	76,5

Примечание. Составлена с использованием материалов [Многолетние данные..., 1985].

Таблица 3. Показатели истощения стока в зимнюю межень

Номер (см. рис. 1)	Река, пост	Площадь водосбора, км ²	Сред. сток за сентябрь, м ³ /с	Показатели истощения стока за зимнюю межень, м ³ /с						
				X	XI	XII	I	II	III	IV
<i>Реки Примагаданья – Циркумтихоокеанская область</i>										
7	Тауй, пос. Талон	25 100	536	1,72	3,04	1,74	1,36	1,3	1,18	0,95
8	Дукча	330	7,21	1,31	2,0	1,44	1,54	1,45	1,04	0,62
9	Магаданка, устье р. Каменушка	74,7	1,99	1,23	1,84	1,38	1,39	1,35	1,03	0,69
10	Каменушка, 3,3 км выше плотины	58,8	1,32	1,19	2,09	1,39	2,0	1,73	1,36	0,45
11	Руч. Спутник	2,25	0,044	1,22	1,4	1,26	1,09	1,3	1,07	0,95
12	Уптар, пос. Уптар	265	6,75	2,06	2,04	1,58	1,64	1,3	1,2	0,8
13	Гижига, 20 км выше устья	1175	161	1,83	3,24	2,73	1,4	1,25	1,12	0,87
14	Туромча, 5 км выше устья	188	7,38	2,4	2,68	1,83	1,37	1,15	1,05	1,03
<i>Реки бассейна р. Колыма (для сравнительной оценки)* – Циркумарктическая область</i>										
1	Кулу, пос. Кулу	10 300	130	3,24	2,97	2,42	2,01	1,71	1,37	1,06
2	Оротукан, пос. Оротукан	740	11,4	4,07	6,2	8,65	7,43	2,33	3,0	1,0
3	Нелькоба, пост Нелькоба	2110	32,1	3,11	4,53	2,95	3,32	2,86	2,33	0,82

Примечание. Составлена по материалам [Многолетние данные..., 1985].

* Реки расположены за пределами рис. 1.

данья подмерзлотных вод зоны гипергенной трещиноватости, возможно, и вод АБ зоны свободного водообмена. Таких источников подземных вод в бассейне Верхней Колымы нет, поскольку мощность ТМП здесь почти повсеместно больше глубины развития гипергенной трещиноватости.

Следует отметить, что окончание зимней межени происходит раньше наступления теплого периода года и начала массового таяния снежного покрова. На Северо-Охотоморском побережье, как и в бассейне р. Колыма, в апреле за три-четыре недели до начала теплого периода года сток постепенно увеличивается. Это мы связываем с началом дневного таяния снежного покрова на склонах южной экспозиции при отрицательных температурах воздуха. Однако известно, что в апреле температура пород СТС и СМС отрицательная. Механизм миграции талой воды в порах морозных отложений пока не ясен, хотя существование его не вызывает сомнений.

Нарушение зимнего закономерного падения расходов. Изучая опубликованные результаты многолетних измерений расходов воды в реках на северном побережье Охотского моря (Гижига, Дукча, Магаданка, Каменушка, Тауй), авторы заметили, что в отдельные годы непрерывное уменьшение суточного объема речного стока в зимнюю межень сменяется его увеличением. Если подобное происходит в марте и апреле, то можно предположить, что в дневные часы на склонах южной

экспозиции происходит локальное таяние снега с поступлением воды в русло водотока. Однако указанные флуктуации стока наблюдались и в более ранние сроки при отрицательном радиационном балансе.

Для примера приведем результаты наблюдений за изменением расходов воды во второй половине зимней межени в наиболее крупных реках Примагаданья.

По замыкающему створу р. Гижига в 20 км выше устья при площади водосбора 11 700 км² расход воды с 1 по 20 января 1955 г. понизился с 6,06 до 4,28 м³/с. С этой даты он начал возрастать, достигнув 10 февраля практически того же значения, что и месяц назад (6,03 м³/с). С 11 по 24 февраля расход вновь понизился до 5,14 м³/с, оставаясь на этом уровне пять дней, затем в последующие 10 дней увеличился до 6,38 м³/с. С 11 по 31 марта расход воды уменьшился до 4,45 м³/с. С этой даты он постепенно увеличивался на сотые и десятые доли кубометра в секунду. В начале мая началось возрастание расходов перед наступлением паводка. Таким образом, минимум речного стока во второй половине зимней межени (4,28 м³/с) отмечен 20 января 1955 г., а не в конце зимней межени.

Водосборная площадь р. Тауй в створе у пос. Талон равна 25 200 км². В 1997 г. расход воды в этом створе с 1 января по 21 февраля уменьшался с 88 до 62 м³/с. После этой даты ежедневные

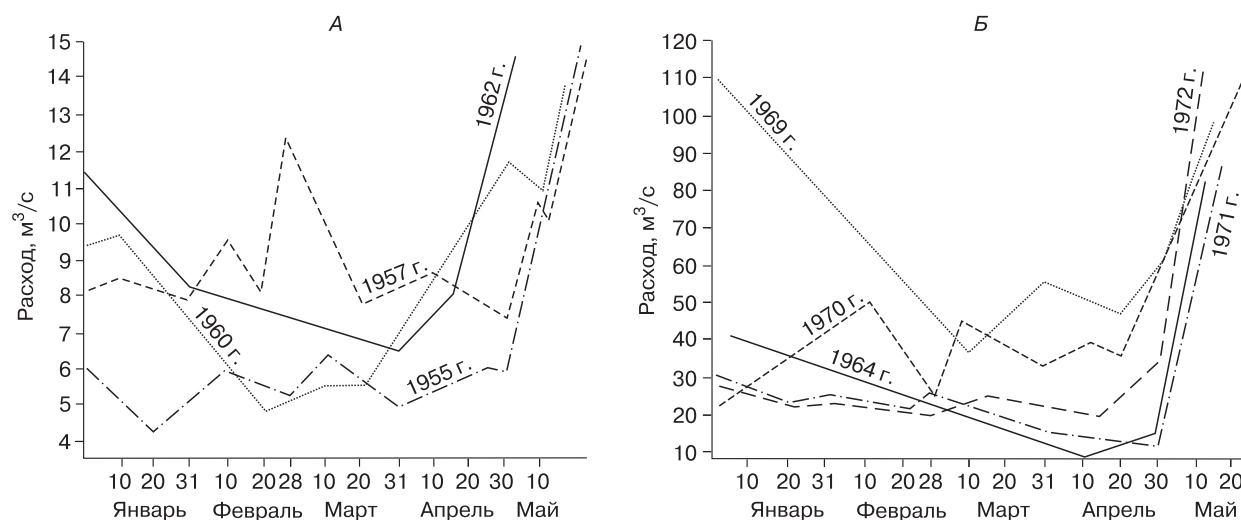


Рис. 4. Изменения речного стока в зимнюю межень (январь–апрель):

А – р. Гижига, в 20 км выше устья; Б – р. Тауй у пос. Талон.

расходы возрастали на 0,2–0,8 м³/с и постепенно перешли в предвесенний подъем, превысив январский расход в первой декаде апреля. Массовое таяние снега наблюдалось 12 мая 1997 г. Следовательно, минимум расхода в зимнюю межень (62 м³/с) отмечен 26 февраля, т. е. почти за два месяца до окончания холодного периода года.

Гидрограф стока в годы нарушения режима зимних расходов имеет вид ломаной или волнистой линии в зависимости от принятого масштаба (рис. 4).

Впервые зимние колебания расходов воды в реках с круглогодичным стоком авторы заметили в бассейне Верхней Колымы. Изучив возможные причины таких изменений, в том числе за счет колебаний активности наледообразования и нарастания ледового покрова на реках, мы объяснили подобные флуктуации расходов сдвиго-раздвиговыми колебаниями литосферных блоков, ограниченных водоносными разломами [Глотов, Глотова, 2008б]. На реках Примагаданья сходные явления происходят в большем объеме и практически на всех изученных водотоках. Данный факт

увязывается с увеличением мощности зоны свободного водообмена. Кроме того, Примагаданский шельф и его бассейн речного стока находятся в тектонически активной зоне коллизии указанных литосферных плит, что имеет большое значение для формирования трещиноватости в гидрогеологических структурах.

К приведенным выше сведениям добавим, что сток р. Гижига за период наблюдений с 1951 по 1980 г. (30 лет) в зимнюю межень незакономерно менялся 11 раз. Сток в р. Магаданка (пост Колымское шоссе) за 1938–1957 гг. менялся восемь раз, в р. Тауй (пос. Талон) за 40 лет (с 1941 по 1980 г.) – в семи зимних межнях. Годы с эпизодическими изменениями стока в зимнюю межень не имеют видимой периодичности, не отличаются своеобразием климатических условий, в разных реках проявляются не всегда одновременно. Из-за недостаточной гидрологической изученности невозможно уверенно проследить связь этих изменений с геологическими факторами. Можно предполагать наличие такой связи, опираясь на результаты наблюдений на реках Магаданка и Дукча, распо-

Таблица 4. Даты минимального речного стока в зимнюю межень на постах рек Дукча и Магаданка

№ п/п	Река Дукча – устье			Река Магаданка – устье р. Каменушка		
	Год	Дата	Сред. расход на дату, м ³ /с	Год	Дата	Сред. расход на дату, м ³ /с
1	1962	02.03	0,64	1962	18–23.02	0,51
2	1969	10.03	0,23	1969	28.02–01.03	0,23
3	1971	19–23.02	0,61	1971	05–10.03	0,22
4	1972	20–21.02	0,24	1972	10–11.03	0,14
5	1973	21–22.02	0,72	1973	29.01–04.02	0,31
6	1978	01.03	0,70	1978	19–24.02	0,22

ложенных в геологически однородном блоке – в пределах Магаданского гранодиоритового массива. Наблюдения на обоих водотоках велись параллельно с 1961 по 1980 г. В табл. 4 приведены данные о достаточно близких датах эпизодических изменений зимнего стока этих рек. В реках Гижига и Тауй, дренирующих геодинамически различные террейны, такой синхронности нет. Роль суточных приливно-отливных движений блоков земной коры в геодинамических процессах на северном побережье Охотского моря не изучена.

Мы полагаем, что вариации объема стока подземных вод в реки происходят и в летнее время, но они не заметны из-за относительной малости по сравнению с объемом снежного и дождевого питания.

ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение роли подземных вод в формировании общего стока рек бассейна Примагаданского шельфа показывает, что она весьма значительна. Для рек, водосборная площадь которых расположена севернее 60° с.ш., минимальная доля подземных вод в общем водном стоке не опускается ниже 25–30 %, а модуль стока, соответственно, 3,8–4,2 л/(с·км²). Для рек южнее 60° с.ш. эта доля возрастает до 40,0–76,5 %, модуль стока – до 5,8–12,7 л/(с·км²). При этом наблюдается обратная зависимость между площадью водосбора и величиной участия подземных вод в питании рек. Это объясняется тем, что в питании рек возрастает роль подмерзлотных вод талого основания зоны гипергенной трещиноватости, увеличивается объем обводненных сезоннотальных пород и водоносных горизонтов в надмерзлотных и сквозных таликах. Возможно, в зону свободного водообмена вовлекаются поровые и порово-трещинно-пластовые воды артезианских бассейнов.

Обращает на себя внимание участок морского побережья, тяготеющий к 60° с.ш. Географически этому участку соответствует низменность в приустьевой части долины р. Яма и акватория Ямской губы. В геологическом отношении он является зоной пересечения рифтогенных осадочных бассейнов шельфа с сейсмически активной зоной взаимодействия Охотоморской и Северо-Американской литосферных плит. На эту зону накладывается система субмеридиональных глубинных рудоконтролирующих разломов [Сидоров и др., 2009]. В зоне взаимодействия происходит смена простирания Охотско-Колымского водораздела, длинных осей субмаринных осадочных бассейнов, Северо-Охотоморского побережья с субширотного на северо-восточное. Здесь же меридиональные траектории тихоокеанских циклонов приобретают северо-восточное направление, определяя климатические и геофизиологические отличия районов севернее 60° с.ш. от южных.

Наряду с общими закономерными уменьшениями стока рек в зимнюю межень выявлены эпизодические флуктуации расходов реки во второй половине зимней межени, не связанные с резкими изменениями климатической обстановки на водосборных площадях. Масштабы проявлений этого процесса больше, чем в районах Верхней Колымы. Наиболее очевидная причина увеличения амплитуд флуктуаций расходов непромерзающих рек связана с уменьшением сплошности и мощности ТМП, возрастанием объема подмерзлотной трещиноватости и геодинамической активностью изучаемой площади. Вместе с тем следует отметить, что амплитуда флуктуаций в реках Дукча, Магаданка, Каменушка меньше, чем в реках Гижига и Тауй, хотя находятся они в более благоприятных условиях для формирования подземных вод. Однако в геологическом отношении Дукча, Магаданка, Каменушка дренируют постагрегационный “сшивающий” Магаданский гранодиоритовый массив. В то же время реки Гижига и Тауй находятся на площадях преимущественно адмассивов и вулканогенных супербассейнов двух разных террейнов – Вилигинском и Кони-Тайгоносском, перекрытых вулканогенными покровами Охотско-Чукотского пояса. Расположение террейнов и вулканогенных покровов в современной геодинамически активной зоне коллизии сказывается на усилении субгоризонтальной тектонической трещиноватости в адмассиве и, следовательно, на объеме обводненных трещиноватых пород. Изменения этого объема при сдвигающих пароксизмах и релаксирующих раздвигах отражается на расходах рек. Это заключение соответствует представлениям, которые в последние годы развивает С.М. Тагильцев [2003], о генезисе зон субгоризонтальной повышенной трещиноватости в скальных массивах.

ВЫВОДЫ

Установленная большая роль подземных вод в питании рек бассейна Примагаданского шельфа связана с прерывистым и островным распространением ТМП, вовлечением в зону свободного водообмена не только вод сезонноталого слоя и грунтовых вод надмерзлотных и сквозных таликов, но и подмерзлотных трещинных и трещинно-жилевых вод гидрогеологических массивов, адмассивов, вулканогенных супербассейнов, возможно, пластовых вод артезианских бассейнов.

В свою очередь распространение и мощность ТМП контролируются процессами теплового переноса из акватории Тихого океана на побережье Примагаданского шельфа, ориентацией осевых зон основных геоморфологических и тектонических структур шельфа и прилегающей суши относительно траекторий тихоокеанских циклонов. Изменение этой ориентации с субширотной на се-

веро-восточную приводит к уменьшению атмосферных осадков, увеличению мощности ТМП. Это происходит в месте пересечения сейсмически активной зоны взаимодействия Охотоморской и Северо-Американской литосферных плит с рифтогенными осадочными бассейнами шельфа и субмеридиональными глубинными разломами. Географически данное место соответствует низменности в дельте р. Яма и акватории Ямской губы. Следовательно, на малом по площади блоке земной поверхности отчетливо проявляются связи геодинамических, географических, климатических и мерзлотно-гидрогеологических особенностей.

Объем водоносного трещинного пространства в гидрогеологических массивах, адмассивах и вулканогенных супербассейнах во времени непостоянен и может эпизодически меняться, что замечено по флуктуациям расходов водотоков в зимнюю межень. Эти колебания расходов связаны с проявлениями современных субгоризонтальных сдвиго-раздвиговых давлений литосферных блоков в зоне их коллизии.

Таким образом, изучение режима рек и связанных с ними подземных вод зоны свободного водообмена позволяет решать не только вопросы формирования водных ресурсов региона в сложных природных условиях. По сути, комплексные гидрологические, геокриологические и гидрогеологические особенности отражают направленность геодинамических процессов в земной коре, как в предшествующие, так и в настоящий период, и могут служить методологической базой для решения задач современной геодинамики.

Литература

- Белый В.Ф.** Крайне-континентальные тектоно-магматические пояса Тихоокеанского сегмента Земли. Магадан, СВКНИИ ДВО РАН, 1998, 58 с.
- Болдовский Н.В.** Гидрогеологические системы Восточно-Азиатского крайне-континентального вулканического пояса: Автореф. дис. ... д-ра геол.-мин. наук. Хабаровск, 2003, 48 с.
- Глотов В.Е.** Районирование Северо-Востока России по степени участия подземных вод в формировании общего речного стока // Факторы формирования общего стока малых горных рек в Субарктике. Магадан, СВКНИИ ДВО РАН, 2002, с. 182–201.
- Глотов В.Е.** Гидрогеология осадочных бассейнов Северо-Востока России. Магадан, Кордис, 2009, 232 с.
- Глотов В.Е., Глотова Л.П.** Гидрогеология северной береговой зоны Охотского моря // Тихоокеан. геология, 2008а, т. 27, № 6, с. 31–42.
- Глотов В.Е., Глотова Л.П.** Естественные нарушения подземного питания рек бассейна Верхней Колымы в зимнюю межень // Криосфера Земли, 2008б, 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, № 6, с. 119–121.
- Государственный доклад** о состоянии окружающей природной среды в Магаданской области в 2010 г. / Отв. ред. В.А. Бердников. Магадан, Кордис, 2011, 76 с.
- Зуев И.А.** Геокриологические, геотермические и сейсмические особенности Приохотской рифтовой зоны в районе Тауйской губы // Колыма, 1995, № 9–10, с. 8–15.
- Ковалев А.Д.** Моря // Север Дальнего Востока. М., Наука, 1970, с. 166–185.
- Кузнецов А.С., Насыбулин Ш.С.** Особенности формирования стока на реках Верхней Колымы // Сб. работ Магаданской гидрометеорологической обсерватории. Магадан, МГМО, 1970, с. 52–65.
- Кулаков В.В.** Месторождения пресных подземных вод Приамурья. Владивосток, ДВО РАН, 1990, 150 с.
- Ландшафты, климат и природные ресурсы Тауйской губы Охотского моря** / Отв. ред. И.А. Черешнев. Владивосток, Дальнаука, 2006, 525 с.
- Многолетние данные** о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. 1, вып. 17. Бассейны Колымы и рек Магаданской области. Л., Гидрометеиздат, 1985, 430 с.
- Основные гидрологические характеристики** (за 1971–1975 гг. и весь период наблюдений). Т. 19. Северо-Восток / Под ред. М.Р. Чернышевой. Л., Гидрометеиздат, 1978, 228 с.
- Пигузова В.М.** Естественные ресурсы подземных вод // Гидрогеология СССР. Т. 26. Северо-Восток СССР / Ред. О.Н. Толстихин. М., Недра, 1972, 297 с.
- Прикладной климатологический справочник Северо-Востока СССР** / Под ред. Н.К. Клюкина. Магадан, Облгкиз, 1960, 428 с.
- Романовский Н.Н.** Основы криогенеза литосферы. Учеб. пособие. М., Изд-во Моск. ун-та, 1993, 336 с.
- Сидоров А.А., Волков А.В., Глотов В.Е.** О связях рудоконтролирующих разломов с послемеловыми осадочными бассейнами и проявлениями углеводородов // Докл. РАН, 2009, т. 429, № 3, с. 374–377.
- Тагильцев С.М.** Тектоническая стратификация гидрогеологического разреза скальных массивов // Материалы XII Всерос. совещ. по подземным водам Востока России. Иркутск, ИрГТУ, 2003, с. 28–30.
- Толстихин О.Н.** Налеги и подземные воды Северо-Востока СССР. Новосибирск, Наука, 1974, 164 с.
- Фотиев С.М.** Гидрогеотермические особенности криогенной области СССР. М., Наука, 1978, 236 с.
- Фотиев С.М.** Криогенный метаморфизм пород и подземных вод (условия и результаты). Новосибирск, Акад. изд-во "Гео", 2009, 279 с.

Поступила в редакцию
1 марта 2012 г.