

УДК 556.168 (571.56+571.650)

ОСОБЕННОСТИ СОВРЕМЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ОБЩЕГО И ПОДЗЕМНОГО ВОДНОГО СТОКА НА СЕВЕРО-ВОСТОКЕ РОССИИ

В. Е. Глотов, Л. П. Глотова

*Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н. А. Шило ДВО РАН,
г. Магадан*

E-mail: geocol@neisri.ru, glotova@neisri.ru

Северо-Восток России площадью около 1,5 млн км² в гидрологическом отношении является крупнейшим полуостровом, разделенным Главным водоразделом Земли на арктический и тихоокеанский склоны. Установлено, что особенности современных изменений водного стока на арктическом склоне и в северном районе тихоокеанского склона проявляются в том, что современное потепление климата вызывает уменьшение общего стока рек при возрастании доли подземного питания в зимнюю межень. В южном районе тихоокеанского склона и в бассейне Охотского моря потепление климата обуславливает увеличение общего стока рек и его подземной составляющей. Эти особенности речного стока мы увязываем с характером распространения криогенных водоупоров. При их сплошном распространении на арктическом склоне и в северном районе тихоокеанского склона объем подземной составляющей общего стока связан преимущественно с водоносностью сезонно-талого слоя. При потеплении климата активизируется рост растительного покрова, что увеличивает в летнее время затраты воды на эвапотранспирацию и испарение с каменистых россыпей. Поэтому сток в летнее время уменьшается. В бассейне Охотского моря криогенные водоупоры имеют прерывистое распространение. В питании рек принимают участие подземные воды не только сезонно-талого слоя, но и сквозных таликов и подмерзлотные. Поэтому увеличение биологической продуктивности растительного покрова на пополнении запасов подземных вод и питание рек не сказывается. При прогрессирующем потеплении возможны трансформации сплошных криогенных водоупоров в прерывистые, а прерывистых – в островные. В этом случае повсеместно будет возрастать общий водный сток и его подземная составляющая. В геоэкологическом отношении увеличение водного стока имеет положительную значимость при возможных негативных последствиях, проявления которых можно предупредить.

Ключевые слова: Северо-Восток России, Главный водораздел Земли, потепление климата, криогенные водоупоры, общий водный сток, подземное питание рек.

ВВЕДЕНИЕ

Северо-Восток России (СВ РФ), традиционно без п-ова Камчатка, относится к немногим регионам планеты, которые омываются морями двух гидротермически разных океанов – Северного Ледовитого (Арктического) и Тихого (рис. 1). Поскольку первый – естественное продолжение Атлантического, то водораздел их бассейнов является фрагментом Главного водораздела Земли (ГВЗ). Климатические условия на арктическом склоне ГВЗ формируются за счет привноса тепла и влаги воздушными массами, формирующимися в акватории океана, который на большей части своей площади, даже в теплое время года, закрыт

льдами. Соответственно воздух, поступающий на сушу, имеет низкую температуру и обеднен влагой. Климат на тихоокеанском склоне определяется субмеридиональными циклонами, которые несут тепло и влагу из умеренно теплых широт Тихого океана. Эти циклоны достигают высоких северных широт, а в отдельных случаях прорываются на арктический склон, вызывая повышение температуры воздуха и количества осадков в бассейне Чукотского моря. Современные климатические условия региона, характеризующиеся отрицательными средними годовыми температурами воздуха, благоприятны для сохранения многолетнемерзлых пород, которые являются региональным криогенным водоупором (КВ) (Геокриология..., 1989; Фотиев, 2013).

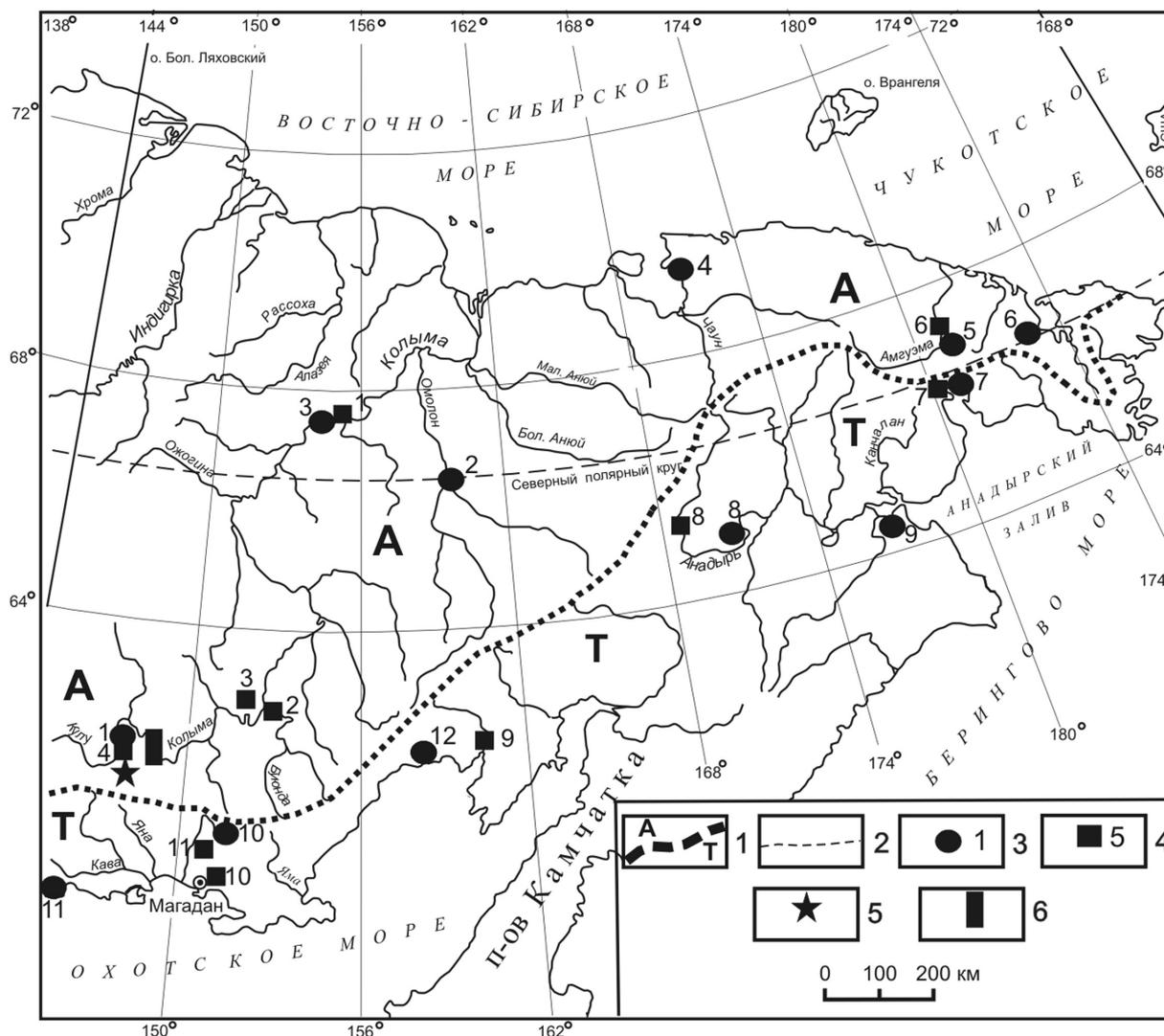


Рис. 1. Схематическая карта Северо-Востока России: 1 – Главный водораздел Земли (А – арктический склон, Т – тихоокеанский); 2 – Северный полярный круг; 3 – метеопосты, их номера по тексту, в том числе: 1 – Сеймчан, 2 – Омолон, 3 – Среднеколымск, 4 – Певек, 5 – Амгуэма, 6 – Уэлен, 7 – Эгвекинот, 8 – Марково, 9 – Анадырь, 10 – Палатка, 11 – Охотск, 12 – Наяхан; 4 – гидрометеопосты, их номера по тексту: 1 – р. Колыма, пос. Среднеколымск, 2 – р. Колыма, пос. Усть-Среднекан, 3 – р. Таскан, пос. Таскан, 4 – р. Кулу, пос. Кулу, 5 – р. Детрин, устье р. Вакханка, 6 – р. Амгуэма, мост у 1744-го км, 7 – руч. Изыскательский, 2,5 км от устья, 8 – р. Анадырь, пос. Новый Еропол, 9 – р. Гижига, 20 км от устья, 10 – р. Хасын, пос. Хасын, 11 – р. Дукча, устье, 5 – Колымская ГЭС; 6 – Колымская воднобалансовая станция

Fig. 1. Base map of the Russian North-East: 1 – Great Divide of the Earth (A – Arctic slope, T – Pacific slope); 2 – Arctic Circle; 3 – weather monitoring stations as numbered in the text: 1 – Seimchan, 2 – Omolon, 3 – Srednekolymsk, 4 – Pevek, 5 – Amguema, 6 – Uelen, 7 – Egvekinot, 8 – Markovo, 9 – Anadyr, 10 – Palatka, 11 – Okhotsk, 12 – Nayakhan; 4 – hydrological stations as numbered in the text: 1 – Kolyma River, Srednekolymsk, 2 – Kolyma River, Ust-Srednekan, 3 – Taskan River, Taskan, 4 – Kulu River, Kulu, 5 – Detrin River, Vakhanka River mouth, 6 – Amguema River, bridge at the 1744 km mark, 7 – Izyskatelsky Creek, 2.5 km from its mouth, 8 – Anadyr River, Novy Eropol, 9 – Gizhiga River, 20 km from its mouth, 10 – Khasyn River, Khasyn, 11 – Dukcha River mouth; 5 – Kolyma Hydropower Plant; 6 – Kolyma Water Balance Station

На арктическом склоне и в бассейне Анадырского залива Берингова моря (северный район тихоокеанского склона) КВ имеет сплошное распространение. На тихоокеанском склоне и в бассейне стока Охотского моря КВ прерывистый. Различия в геокриологических и климатических стокоформирующих факторах сказываются в количественных характеристиках общего и подземного водно-

го стока на разных океанических склонах (Глотов, 2002а; Ушаков, 2015). Ранее мы показали связь величины подземного питания рек в зимнюю межень с особенностями террейновой тектоники региона (Глотов, Глотова, 2010, 2011, 2012). Однако общие закономерности реакции общего и подземного стока рек на склонах ГВЗ на современные трансформации климата до сих пор не изучены.

Цель исследования – выявить закономерные связи изменений водного стока на склонах ГВЗ с современными преобразованиями климатических стокоформирующих факторов.

Объект исследования – климатические стокоформирующие факторы, *предмет исследования* – водный сток на склонах ГВЗ.

Научная и практическая актуальность данного исследования определяется большой значимостью водного стока в эрозионной и аккумулярующей деятельности водотоков, в образовании россыпей благородных металлов. Знание характера общего водного стока и изменений его режима необходимо для практического использования пресных вод, для решения геоэкологических проблем.

Методы исследования включают изучение и анализ опубликованных материалов Колымского управления гидрометеослужбы (КУГМС), полученных в основном в период от 30–40-х гг. и до конца 80-х гг. прошлого века на гидрологических постах. С началом перестроечных процессов большая часть этих постов была закрыта, объемы работ на сохранившихся сокращены, поэтому имеются данные наблюдений только до 1988 г., на единичных постах – более поздних. Наименее изучены водотоки бассейнов Чукотского и Берингова моря.

Для выделения подземной составляющей водного стока использован метод генетического расчленения гидрографов стока с учетом особенностей

питания рек подземными водами в криолитозоне. Эти особенности связаны с тем, что основными элементами зоны активного водообмена в криолитозоне сплошного распространения являются воды сезонно-талого слоя (СТС), надмерзлотных и локальных сквозных таликов. В криолитозоне прерывистого распространения, наряду с подземными водами СТС и таликов, в питании водотоков большее значение приобретают сквозные талики, образующиеся в виде полос или лент под руслами водотоков 2-го и больших порядков. При мощности толщи многолетнемерзлых пород (ТММП) менее 100–120 м значимыми элементами зоны активного водообмена становятся зоны подмерзлотной трещиноватости (Глотов, 2016).

Изучая результаты работ Колымской воднобалансовой станции (КВБС), репрезентативной для горных районов криолитозоны (Бойцов, Кузнецов, 1979; Slaughter et al., 1995), за период с 1947 по 2002 г., мы выяснили, что наибольший среднемесячный расход за сентябрь на замыкающем створе руч. Контактный-Нижний в 1975 г. составлял 550 л/с. В этом месяце повсеместно в питании рек и ручьев участвуют выпадающие дожди и подземные воды. Для выявления доли подземных вод построен гидрограф стока (рис. 2) с начала до 20 сентября этого года (до начала холодного периода и появления ледовых заберегов) (Материалы..., 1977).

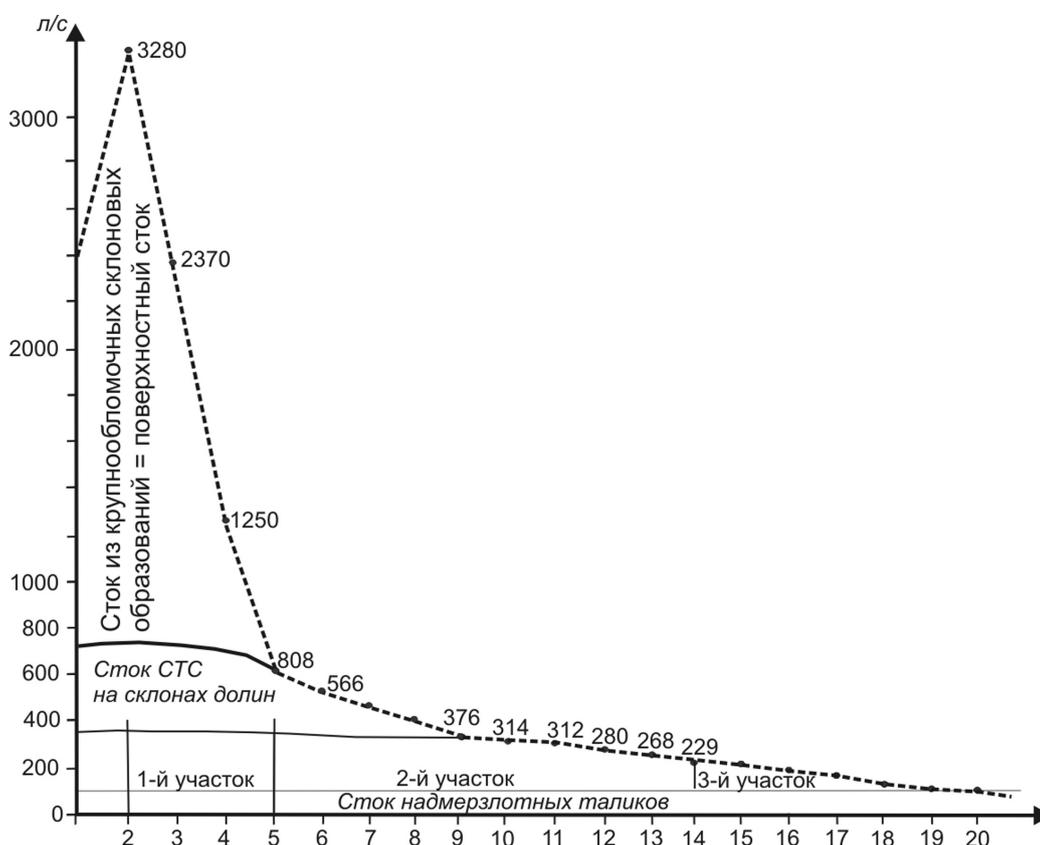


Рис. 2. Гидрограф стока ручья Контактный – Нижний на 1–20 сентября 1975 г. (площадь водосбора 21,2 км²)

Fig. 2. Kontaktovy – Nizhny Cr. runoff hydrograph, September 1–20, 1975, catchment area 21.2 km²

На гидрографе стока отражен максимальный паводковый сток 2 сентября (3280 л/с). Ниспадающая, практически прямая, линия среднего суточного стока прослеживается до 5 сентября. За 3 сут расход уменьшился на 75% от максимального среднесуточного. Мы полагаем, что резкое снижение интенсивности падения расходов воды связано с прекращением поступления ее из грубообломочных грунтов СТС, отличающихся полной водоотдачей, и началом дренирования щебенчатых образований с мелко- и тонкозернистым заполнителем и меньшей водоотдачей. Сток воды из последних с полным основанием относим к подземному, сток воды из грубообломочных отложений считаем склоновым. В данном случае подземные воды обеспечивали питание водотока 5 сентября со среднесуточным расходом 808 л/с, что значительно превышает многолетний среднемесячный. Поэтому обоснованно считать, что средне-

месячные значения водного стока за сентябрь по всему СВ РФ обеспечены подземным питанием, в котором основная часть принадлежит водам СТС. В ноябре, после перемерзания этого слоя, подземное питание происходит в основном за счет подземных вод надмерзлотных подрусловых таликов. По данным КВБС, уровень подземных вод в середине декабря в надмерзлотном талике опускается на глубину около 5 м (Глотов, 2002б). В январе – апреле на арктическом склоне ГВЗ и в январе – марте на тихоокеанском сток обеспечивается за счет вод надмерзлотных и сквозных таликов, а на тихоокеанском склоне – и подмерзлотных вод (Глотов, Глотова, 2010, 2012).

Характеристика объекта исследований. Для суждения об особенностях распространения основных стокоформирующих факторов климата (средней годовой температуры воздуха и осадков) по территории СВ РФ их значения показаны

Таблица 1. Средние годовые значения температуры воздуха и количества атмосферных осадков (данные КУГМС)

Table 1. Average annual air temperatures and precipitations (after Kolymian Hydrometeorologic Department)

№ п/п	Метеостанция; абс. отметка, м; координаты	Годы наблюдений, годы	Средние годовые значения за период наблюдений	
			Температура, °С	Осадки, мм
Арктический склон ГВЗ				
<i>Бассейн стока Восточно-Сибирского моря</i>				
1	пос. Сеймчан; 205 м; 62°55' с. ш., 152°25' в. д.	1934–1959	-11,9	286
		1934–2010	-10,3	307
2	пос. Омолон; 260; 65°44' с. ш., 160°32' в. д.	1944–1959	-13,2	256
		1944–2010	-11,6	264
3	г. Среднеколымск; 29; 67°27' с. ш., 158°43' в. д.	1887–1959	-12,6	195
		1887–2010	-11,2	234
4	г. Певек; берег моря; 8; 69°42' с. ш., 150°56' в. д.	1940–1959	-10,4	136
		1940–2010	-9,5	190
<i>Бассейн стока Чукотского моря</i>				
5	пос. Амгуэма; 62; 64°47' с. ш., 177°34' в. д.	1948–1959	-11,9	422
		1948–1987	-11,5	494
6	пос. Уэлен; 5; 66°10' с. ш., 169°50' з. д.	1928–1959	-8,2	386
		1928–2010	-7,1	432
Тихоокеанский склон ГВЗ				
<i>Бассейн стока Берингова моря</i>				
7	пос. Эгвекинот; 29; 66°15' с. ш., 179°09' в. д.	1946–1959	-7,1	432
		1946–2010	-6,9	557
8	пос. Марково; 28; 64°41' с. ш., 170°25' в. д.	1895–1959	-9,1	334
		1895–2010	-7,2	432
9	г. Анадырь; 62 м; 64°47' с. ш., 170°25' в. д.	1898–1959	-7,7	312
		1898–2010	-6,9	382
<i>Бассейн стока Охотского моря</i>				
10	пос. Палатка; 341; 60°06' с. ш., 150°56' в. д.	1940–1959	-6,6	383
		1940–2010	-5,7	411
11	г. Охотск; 12; 59°22' с. ш., 147°12' в. д.	1844–1959	-4,8	322,5
		1844–2010	-3,8	499
12	пос. Наяхан; 23; 61°55' с. ш., 158°59' в. д.	1914–1959	-4,9	411
		1914–2010	-4,5	463

в табл. 1, составленной по материалам наиболее репрезентативных метеопостов с относительно длительными (более 60 лет) сроками наблюдений. Так как наиболее значимое потепление происходило в последние 50–60 лет (Гаврилова, 2003), в таблице мы выделили 2 периода наблюдений: до 1960 г. и после.

Как видно из приведенных данных, потепление проявилось по всему региону. Наиболее заметно оно на арктическом склоне ГВЗ и на морских побережьях тихоокеанского.

Потепление повсеместно сопровождается увеличением количества осадков, за последние 60 лет – на 3–55% относительно предшествующего периода. Наибольшее возрастание осадков зафиксировано на тихоокеанском склоне; на арктическом – на 3–7% во внутригорных и до 20–40% в районах, доступных для внедрения циклонов (г. Певек, г. Среднеколымск, пос. Амгуэма).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Повсеместное распространение КВ на Северо-Востоке России привело к концентрированию водного стока (поверхностной и подземной составляющих) в речных долинах, что облегчает задачу

выявления закономерностей его формирования. В эту задачу входит и изучение связи стока с потеплением климата. Для ее решения использованы материалы многолетних наблюдений на водотоках с круглогодичным стоком (за редким исключением). По этим материалам рассчитаны объемы общего речного стока и его подземной составляющей в зимнюю межень: в сентябре – при функционировании СТС, в ноябре – когда питание рек осуществляется преимущественно надмерзлотными подрусловыми таликами, в январе – когда надмерзлотные талики под руслами водотоков 4-го и меньших порядков сдренированы, в марте-апреле – при участии в питании рек подземных вод глубоких надмерзлотных и сквозных таликов, подмерзлотных водоносных слоев и зон трещиноватости. Расчеты выполнялись по периодам наблюдений до 1960 г. и после него, когда, как предполагается, происходило особенно отчетливое потепление. После 1980 г. на полную мощность стала функционировать Колымская ГЭС, вызвавшая значительную трансформацию подземного и поверхностного стока в долине р. Колыма (Глотов и др., 2014). Расчетные данные о стоке представительных рек приведены в табл. 2.

Таблица 2. Данные о стоке репрезентативных водотоков СВ РФ (Основные..., 1966, 1974, 1978; Многолетние..., 1985; Ежегодные..., 1989)

Table 2. The representative runoff data for NER (Основные..., 1966, 1974, 1978; Многолетние..., 1985; Ежегодные..., 1989)

№ п/п	Водотоки, замыкающий створ; площадь водосбора, км ²	Годы наблюдений	Средний годовой расход, м ³ /с	Подземный сток в зимнюю межень по месяцам, м ³ /с			
				IX	XI	I	IV (III)*
<i>Арктический склон ГВЗ</i>							
1	р. Колыма, г. Среднеколымск; 361 000; бассейн Восточно-Сибирского моря	1927–1960	2234,1	3076	280,5	111,9	59,1
		1961–1980	2156	3256	254,4	111,3	58,1
		1981–1999	2030	–	–	–	–
2	р. Колыма, пос. Усть-Среднекан; 99 400	1933–1960	724	960	76,8	17,4	6,02
		1961–1980	720,9	961,5	69,7	17,9	6,1
3	р. Таскан, пос. Таскан; 9970	1938–1960	73,8	80,4	6,12	3,67	2,94
		1961–1999	71,6	86,1	6	3,24	2,5
4	р. Кулу, пос. Кулу; 10 300	1942–1960	92	132	12,1	2,78	1,02
		1961–1988	95,2	136,2	13	2,83	1,3
5	р. Детрин, устье р. Вакханка; 5630	1938–1960	52,3	89,9	7,17	0,82	0,21
		1961–1988	51,1	80,4	6,25	0,92	0,26
6	р. Амгуэма, 1744-й км; 26 700; бассейн Чукотского моря	1944–1960	280	280	18,9	0,28	0,006
		1961–1988	271	283	17,6	0,25	0,005
<i>Тихоокеанский склон ГВЗ</i>							
7	руч. Изыскательский, 1,5 км от устья; 13,2; бассейн Берингова моря	1947–1960	0,36	0,28	0	0	0
		1961–1980	0,31	0,38	0	0	0
8	р. Анадырь, пос. Новый Еропол; 43 300; бассейн Берингова моря	1958–1970	502	443	50,4	16,3	10,7
		1971–1988	431,4	499	50,9	17,5	12,3
9	р. Гижига, 20 км выше устья; 11 700; бассейн Охотского моря	1951–1960	148	132	24,5	10,1	7,27
		1961–1988	156	161	27,1	11,2	7,98
10	р. Хасын, пос. Хасын; 682; бассейн Охотского моря	1941–1960	9,04	15,6	1,73	0,33	0,09
		1961–1999	9,19	13,9	1,72	0,02	0,01
11	р. Дукча, устье; 330; бассейн Охотского моря	1961–1970	5,27	7,08	2,69	1,2	0,7
		1971–1988	5,66	7,28	2,78	1,25	0,8

*На арктическом склоне минимальный зимний сток в апреле, на тихоокеанском – в марте. Прочерк – нет данных.

Приведенные данные показывают, что общий водный годовой сток большей части рек на арктическом склоне ГВЗ сокращается при общей оптимизации климатических условий. Потепление климата отражается в увеличении питания рек подземными водами СТС, надмерзлотных и сквозных таликов. Исключение составляют только некоторые водотоки (рр. Кулу, Бохапча), сток которых, в том числе и подземной составляющей, возрастает по мере потепления климата, что связано с отличиями в тектонических и неотектонических условиях (Глотов, Глотова, 2011). Гидрологическая и гидрогеологическая роль этих факторов при изменениях климата требует дополнительных исследований, поэтому в данной статье особенности стока р. Кулу не рассматриваются.

На тихоокеанском склоне тенденция уменьшения общего стока, при росте подземной составляющей, свойственна рекам бассейна Анадырского залива Берингова моря. В бассейне Охотского моря на всех водотоках отмечено увеличение стока после 1960 г. Динамика этого процесса заметно проявлена на р. Дукча, где общий сток за 17 лет (с 1971 г.) вырос на $0,72 \text{ м}^3/\text{с}$ относительно периода 1961–1971 гг., т. е. с $5,27$ до $5,97 \text{ м}^3/\text{с}$ (Ежегодные..., 1998). Увеличилась также доля питания реки подземными водами в зимнюю межень.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

При анализе факторов формирования водного стока на океанических склонах замечено, что различия в тенденциях его изменения при потеплении климата обусловлены характером криолитозоны или распространенностью КВ. На арктическом склоне ГВЗ и в северных районах тихоокеанского КВ сплошные, их мощность превышает глубину распространения гипергенной трещиноватости (100–150 м). Подземная составляющая общего стока определяется водными ресурсами СТС и надмерзлотных таликов (рис. 3). Сокращение общего стока в этих геокриологических условиях мы увязываем с комплексом причин естественного и техногенного происхождения.

Естественными являются потепление климата, что вызывает увеличение мощности и средней годовой

температуры СТС. Это активизирует биологическую продуктивность травянистой и древесно-кустарниковой растительности, образование почв горно-тундрового кедровостланикового пояса на водоразделах с абсолютными высотами до 1300–1400 м (Основные..., 1978), приводящие к увеличению потерь воды на эвапотранспирацию и фотосинтез. На каменистых осыпях и в горных тундрах всех типов повышение температуры воздуха в теплое время года способствует расходу воды на испарение. Рассмотренные процессы сокращают долю осадков, поступающих на питание водотоков.

На фоне естественных причин уменьшения водного стока рек заметна роль техногенного фактора, особенно в горных долинах малых и средних рек с водосборными площадями менее 10 тыс. км². Техногенное преобразование речных долин наиболее значительно при отработке месторождений россыпного золота открытым способом. Например, у притоков рр. Таскан, Детрин, Берелех и др. днища долин и нижние части горных склонов от верховьев до устья полностью переработаны при добыче золота. Аллювиальные отложения отмыты от алевритовых и глинистых частиц и уложены в гале-эфельные отвалы. Русла водотоков многократно перемещались, надмерзлотные талики разрушались, создавалось множество искусственных водоемов, являющихся испарителями воды (Пугачев, 2002; Сущанский, 2002). Эти изменения, накладываясь на многолетние естественные, находят отраже-

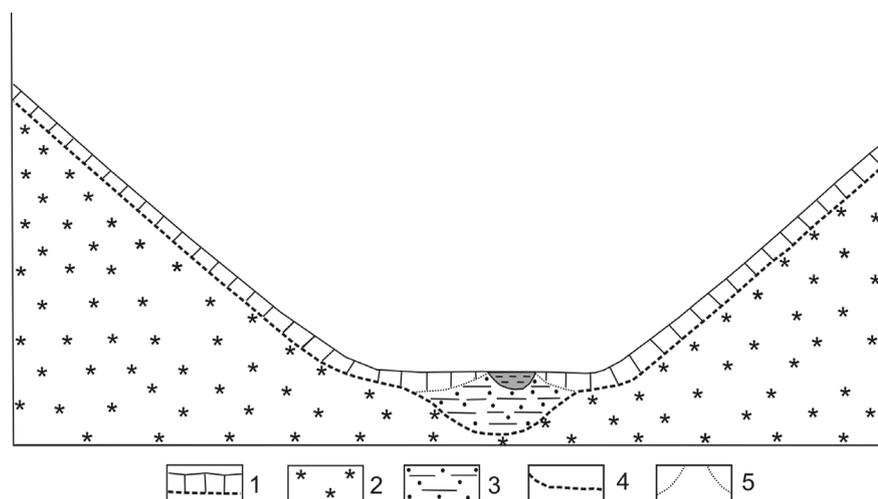


Рис. 3. Модель структуры зоны активного водообмена под долинами рек в районах сплошного распространения многолетнемерзлых пород: 1 – сезонно-талые породы; 2 – многолетнемерзлые породы; 3 – аллювиальные водоносные отложения надмерзлотного талика; 4 – поверхность толщ ММП; 5 – глубина сезонного промерзания

Fig. 3. The structure model of the active water exchange under the river valleys in the continuous permafrost areas: 1 – seasonally thawed rocks; 2 – permafrost rocks; 3 – alluvial water-bearing sediments of the suprapermafrost talik; 4 – surface of permafrost rock masses; 5 – depth of seasonal freezing

ние в тенденции уменьшения общего среднего годового расхода воды и подземного питания рек в зимнюю межень (в табл. 2 показаны примеры таких техногенно измененных рек – Таскан, Детрин).

На тихоокеанском склоне ГВЗ в бассейне Охотского моря КВ имеют прерывистый характер, сквозные подруловые талики прослеживаются от устья до верховья полосами под руслами рек 3-го, часто и 2-го порядков с водосборными площадями 5–10 км². Часто талики образуются на горных склонах и на водоразделах под днищами озер ледникового и тектонического происхождения. Мощность КВ на склонах речных долин менее 150 м, поэтому существует подмерзлотная водоносная зона трещиноватости скальных пород. Питание рек осуществляется подземными водами СТС, надмерзлотных и сквозных таликов, подмерзлотной трещиноватости (рис. 4). Объем этого питания многократно превышает аналогичный показатель на арктическом склоне ГВЗ. Отмечено повсеместное возрастание общего стока даже в реках с техногенно преобразованными долинами (рр. Дукча, Хасын). Следовательно, в условиях распространения прерывистых КВ современное потепление климата не меняет сложившиеся процессы формирования общего и подземного водного стока в Охотское море.

В настоящее время прогнозы климатических изменений и реакции на них криолитозоны и гидрогеосферы многочисленны и противоречивы. Подавляющее большинство исследователей предполагают прогрессирующий рост температуры и атмосферных осадков. Можно прогнозировать, что потепление климата в XXI в. достигнет уровня предшествующего позднеплейстоценового, при котором средняя годовая температура воздуха на Северо-Востоке РФ была на 4–4,5°С выше современной. Следовательно, на побережье Анадырского залива Берингова моря и Чукотского ее значения будут составлять от -4 до -3°С, а на побережье и в бассейне Восточно-Сибирского – от -7 до -5°С. В бассейне Охотского моря данный параметр может варьировать от -2...-3°С на континенте до 0°С на побережье. При таких температурах сплошное распространение КВ преобразуется в прерывистое, а прерывистое – в островное или очаговое. По аналогии с современными обстановками, на арктическом склоне ГВЗ увеличение прерывистости КВ будет происходить одновременно с сокращением их мощности до 100–150 м на водоразделах и меньших значений на склонах речных долин. Возможно формирование подмерзлотной зоны региональной гипергенной трещиноватости, водоносные свойства которой будут возрастать при замерзании и оттаивании льда в трещинах. Правоммерно называть

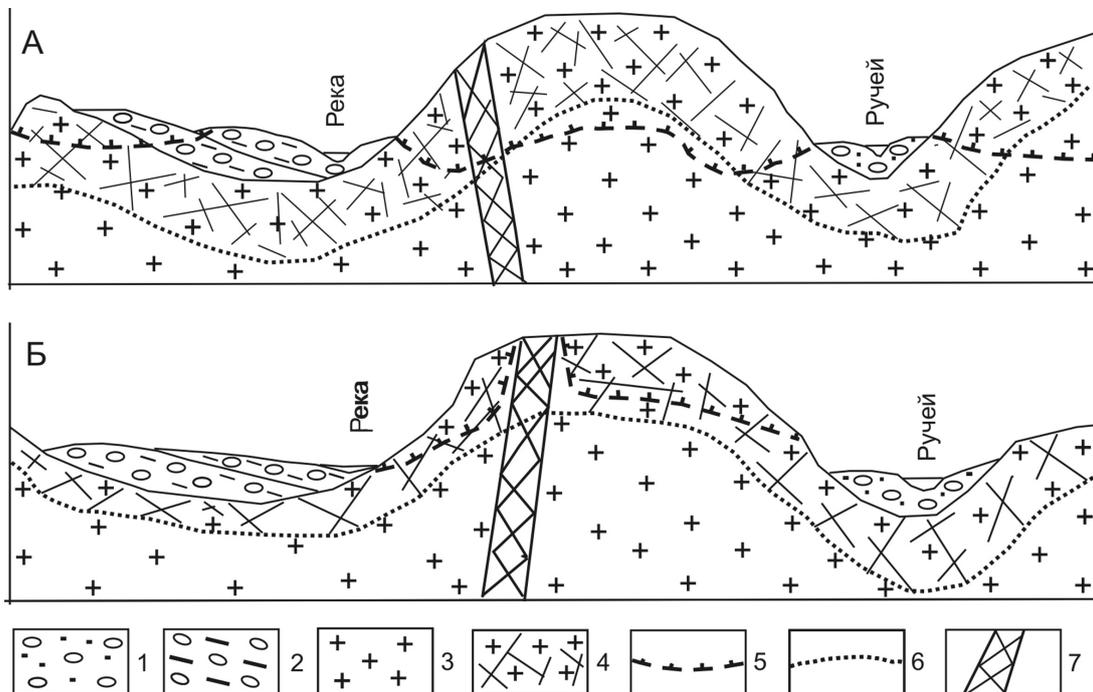


Рис. 4. Схематические геокриологические разрезы на площади прерывистого распространения криогенных водоупоров: А – севернее 60° с. ш., Б – южнее 60° с. ш.: 1 – рыхлые преимущественно аллювиальные отложения четвертичного возраста; 2 – рыхлые кайнозойские отложения; 3 – гидрогеологические массивы; 4 – то же в зоне гипергенеза; 5 – нижняя граница криогенного водоупора; 6 – подошва зоны гипергенеза; 7 – зона разлома

Fig. 4. Schematic geocryological sections in the area of discontinuous cryogenic aquicludes: А – north of 60° N, Б – south of 60° N: 1 – loose, predominantly alluvial Quaternary deposits; 2 – loose Cenozoic deposits; 3 – hydrogeological massifs; 4 – those in the hypergenesis zone; 5 – lower boundary of the cryogenic aquiclude; 6 – base of the hypergenesis zone; 7 – fault zone

новообразованную подмерзлотную зону повышенной водообильности «зоной криогипергенной трещиноватости». В создавшихся условиях, сходных с современными в горно-таежной зоне северного Приамурья, атмосферные осадки будут практически полностью поглощаться почвенно-покровными отложениями (Кирюхин, 1981). Изменения количественных характеристик подземного стока, при общем его возрастании, будут контролироваться тектоническим фактором (Глотов, Глотова, 2011).

Следовательно, и на арктическом, и на тихоокеанском склонах ГВЗ в пределах СВ РФ при дальнейшем прогрессирующем потеплении климата следует ожидать увеличения общего стока во всех реках региона. Оно будет связано с повсеместным развитием зоны активного водообмена вследствие увеличения площади талых пород, сокращения мощности КВ и формирования подмерзлотной водоносной зоны региональной криогипергенной трещиноватости. Такой прогноз в целом геоэкологически благоприятен для людей, так как повышает привлекательность региона для его комплексного, в том числе сельскохозяйственного, освоения. Разумеется, возможны и негативные последствия, связанные с активизацией эрозионных и термоэрозионных процессов, усложнением горных работ. Для управления этими процессами необходимо уже сейчас организовать пункты длительного мониторинга на репрезентативных участках региона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные исследования позволяют сделать ряд выводов, в том числе:

происходящее потепление климата и увеличение количества атмосферных осадков на арктическом склоне ГВЗ и в северном районе тихоокеанского, дренируемого реками Анадырского залива Берингова моря, приводят к уменьшению общего водного стока при увеличении подземной составляющей;

современные климатические преобразования на тихоокеанском склоне ГВЗ в бассейне Охотского моря сопровождаются увеличением общего стока рек и подземного питания, в том числе за счет подмерзлотной водоносной зоны региональной трещиноватости криогипергенного происхождения и подрусовых сквозных таликов, протягивающихся от устья до верховьев водотоков;

реакция стока рек на современные изменения климата связана с различными условиями их питания подземными водами при сплошном и прерывистом распространении криогенных водоупоров. В первом случае основным элементом зоны активного водообмена является СТС. Из-за малой его мощности и близповерхностного залегания уровня подземных вод значительная их часть расходуется на эвапотранспирацию и фотосинтез растений, на

испарение летних осадков. Поэтому потери воды возрастают при увеличении температуры воздуха и при техногенных преобразованиях речных долинах, сопровождающих добычу россыпного золота.

При прерывистом распространении криогенных водоупоров атмосферные осадки не только поглощаются СТС, но и инфильтруются в сквозные талики, в подмерзлотную водоносную зону криогипергенной трещиноватости. При потеплении климата условия питания подземных вод атмосферными осадками улучшаются, поэтому возрастает их доля в общем речном стоке;

прогнозируемое потепление климата вызовет преобразование сплошной криолитозоны в прерывистую на арктическом склоне ГВЗ и в северном районе тихоокеанского, прерывистой в островную и очаговую в бассейне Охотского моря на площади тихоокеанского склона. Соответственно изменится характер распространения криогенных водоупоров. Эти преобразования будут способствовать повсеместному увеличению общего водного стока, прежде всего его подземной составляющей. С геоэкологических позиций возможные изменения благоприятны для людей, но возможны негативные последствия по отдельным направлениям человеческой деятельности, поэтому нуждаются в постоянном мониторинге.

ЛИТЕРАТУРА

- Бойцов Ю. А., Кузнецов А. С.* Репрезентативность Колымской воднобалансовой станции и ее научно-прикладное значение // Колыма. – 1979. – № 10. – С. 28–30.
- Гаврилова М. К.* Изменения современного климата области «вечной мерзлоты» в Азии // Обзор состояния и тенденций изменения климата Якутии : препринт. – Якутск : ЯФ СО РАН, 2003. – 12–18.
- Геокриология СССР.* Восточная Сибирь и Дальний Восток. – М. : Недра, 1989. – 515 с.
- Глотов В. Е.* Многолетнемерзлые породы и подземные воды рудных месторождений приводораздельной зоны Охотско-Колымского фрагмента Главного водораздела Земли // Вестник СВНЦ ДВО РАН. – 2016. – № 3. – С. 36–46.
- Глотов В. Е., Глотова Л. П.* Особенности питания рек подземными водами на арктическом склоне Чукотки: теоретические и практические аспекты // Там же. – 2010. – № 1. – С. 89–98.
- Глотов В. Е.* Подземные воды бассейна руч. Контактный как фактор формирования общего водного стока // Там же. – 2002б. – С. 102–141.
- 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, 2002а. – С. 182–201.
- Глотов В. Е., Глотова Л. П., Ушаков М. В.* Ресурсы подземных вод в долине р. Колыма и их изменение при эксплуатации Колымской ГЭС // Геоэкология. Инженерная геология. Гидрогеология. Геокриология. – 2014. – № 1. – С. 20–27.

Глотов В. Е., Глотова Л. П. Роль подземных вод в общем стоке рек бассейна Примагаданского шельфа // Криосфера Земли. – 2012. – Т. 16, № 1(9). – С. 57–66.

Глотов В. Е., Глотова Л. П. Роль террейновой тектоники в формировании подземного стока зоны активного водообмена в долинах горных рек криолитозоны // Тихоокеан. геол. – 2011. – Т. 30, № 5. – С. 93–104.

Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 1988. Т. 1. РСФСР. Вып. 17. Бассейны Колымы и рек Магаданской области. – Магадан : КУГМС, 1989. – 100 с.

Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. 1997. Т. 1. Вып. 17. Бассейны Колымы и рек Магаданской области. – Магадан : КУГМС, 1998. – 98 с.

Кирюхин В. П. Гидродинамическая зональность и кинематические модели подземного стока в горно-складчатых областях // Зональность подземных вод платформенных и горно-складчатых областей. – Л.: ГО СССР, 1981. – С. 12–25.

Материалы наблюдений Колымской воднобалансовой станции за 1975 год. – Магадан : КУГМС, 1977. – Вып. 16. – 155 с.

Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Т. 1. РСФСР. Вып. 17. Бассейны Колымы и рек Магаданской области. – Л. : Гидрометеоздат, 1985. – 430 с.

Основные гидрологические характеристики. Т. 19. Северо-Восток СССР. – Л. : Гидрометеоздат, 1966. – 379 с.

Основные гидрологические характеристики (за 1961–1970 гг. и весь период наблюдений). Т. 19. Северо-Восток. – Л. : Гидрометеоздат, 1974. – 230 с.

Основные гидрологические характеристики (за 1971–1975 гг. и весь период наблюдений). Т. 19. Северо-Восток. – Л. : Гидрометеоздат, 1978. – 226 с.

Пугачев А. А. Почвенно-растительный покров территории КВБС // Факторы формирования общего стока малых горных рек в Субарктике. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2002. – С. 141–166.

Щуцанский С. И. История создания, методы, объемы и некоторые результаты исследований Колымской воднобалансовой станции // Там же. – Магадан : СВКНИИ ДВО РАН, 2002. – С. 18–35.

Ушаков М. В. Особенности подземного питания рек на разных склонах Главного водораздела Земли (на примере рек Северо-Востока России) // Фундаментальные и прикладные проблемы гидрогеологии : материалы Всерос. совещ. по подземным водам России (XXI Совещ. по подземным водам Сибири и Дальнего Востока с международным участием), г. Якутск, 22–28 июля 2015 г. – Якутск : Изд-во ИМ СО РАН, 2015. – С. 338–341.

Фотиев С. М. Подземные воды криогенной области России (классификация) // Криосфера Земли. – 2013. – Т. 17, № 2. – С. 41–59.

Slaughter C. W., Glotov V. E., Vireck L. A. et al. Boreal forest catchments: research sites for global change at high latitudes // Water, Air and Soil Pollution. – 1995. – Vol. 82. – P. 351–361.

Поступила в редакцию 09.01.2018 г.

PECULIARITIES OF MODERN CHANGES OF THE TOTAL AND UNDERGROUND RUNOFF IN NORTH-EAST RUSSIA

V. E. Glotov, L. P. Glotova

North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute n. a. N. A. Shilo FEB RAS, Magadan

The North-East of Russia, with its area of about 1.5 million km², is hydrologically the largest peninsula divided into the Arctic and the Pacific slopes by the Great Divide of the Earth. It is established that the features of the current changes in water flow in the Arctic and northern areas of the Pacific slope are manifested in the fact that the current warming of the climate causes a decrease in the overall flow of rivers with an increase in the share of underground feeding in the winter low water. In the southern Pacific slope and in the Sea of Okhotsk basin, the effect of climatic warming is an increase in total runoff, including its subsurface constituents. We associate these peculiarities of river runoff with the cryolithic zone environments. Over the Arctic slope and the northern Pacific slope, where the cryolithic zone is continuous, the subsurface constituent of the total runoff results from discharge of ground waters hosted in seasonally thawing rocks. Warmer climatic conditions favor vegetation growth, which requires more water for evapotranspiration and evaporation from rocky surfaces in the summertime. In the Sea of Okhotsk basin, where the cryolithic zone is discontinuous, not only ground waters in seasonally thawing layers, but also continuous taliks and subpermafrost waters participate in processes of river recharges. Therefore, greater biological productivity of the vegetation cover shows no effect on the ground-water supply and river recharge processes. With a steady climate warming, a continuous cryolithic zone can presumably degrade into a discontinuous, and then into an island-type permafrost layer. In such case, there will be a general increase in the total runoff and its subsurface constituent. In terms of geocology, a greater runoff is positive, while its possible minor negative consequences can be prevented.

Keywords: North-East of Russia, Great Divide of the Earth, climatic warming, cryogenic aquicludes, total runoff, subsurface recharge.

REFERENCES

- Annual Data on Surface Waters Regimes and Resources, 1988, vol. 1, RSFSR, iss. 17, *The Kolyma R. Area and Other River Areas in Magadan Region*, Magadan, KUGMS, 1989 [In Russian].
- Annual Data on Surface Waters Regimes and Resources, 1997, vol. 1, iss. 17, *The Kolyma R. Area and Other River Areas in Magadan Region*, Magadan, KUGMS, 1998 [In Russian].
- Boitsov, Yu. A., Kuznetsov, A. S., 1979, Data Representativity of the Kolymian Water-Balance Station and Its Scientific and Applied Significance, *Kolyma*, no.10, pp. 28–30 [In Russian].
- Fotiev, S. M., 2013, Ground Waters in Cryogenic Areas of Russia (Classified), *The Cryosphere of the Earth*, vol. 17, no. 2, pp. 41–59 [In Russian].
- Gavrilova, M. K., 2003, Modern Climate Changes in "Permafrost Areas" of Asia, *Review of Climatic Conditions and Tendencies in Yakutia*, Yakutsk, Yakutsk Branch of SB RAS, pp. 12–18 [In Russian].
- Geocryology of the USSR. East Siberia and Far East*, 1989, Moscow, Nedra [In Russian].
- Glotov, V. E., 2002a, Regioning of North-East Russia by Participation of Ground Waters in the Total River Runoff, *Formation Factors of the Total Runoff of Small Mountain Rivers in Sub-Arctic Areas*, Magadan, NEISRI FEB RAS, pp. 182–201 [In Russian].
- Glotov, V. E., 2002b, Ground Waters of the Kontaktovy Cr. Area as the Factor of Total Runoff Formation, *ibid.*, pp. 102–141 [In Russian].
- Glotov, V. E., 2016, Perennially Frozen Rocks and Ground Waters in Lode Deposit Areas in the Okhotian-Kolymian Part of the Great Divide of the Earth, *North-East Science Center Bulletin*, no. 3, pp. 36–46 [In Russian].
- Glotov, V. E., Glotova, L. P., 2010, Peculiarities of Ground Water Feeding of Rivers on the Arctic Slope of Chukotka: Theoretical and Applied Aspects, *ibid.*, no.1, pp. 89–98 [In Russian].
- Glotov, V. E., Glotova, L. P., 2011, The Role of Terrane Tectonics in Subsurface Drainage Processes in Active Water Exchange Conditions in Mountain River Valleys of the Cryolithic Zone, *Pacific Geology*, vol. 30, no. 5, pp. 93–104 [In Russian].
- Glotov, V. E., Glotova, L. P., 2012, The Role of Ground Waters in the Total Runoff of Rivers in the Primagadansky Shelf Area, *The Earth's Cryosphere*, vol. 16, no. 1 (9), pp. 57–66 [In Russian].
- Glotov, V. E., Glotova, L. P., Ushakov, M. V., 2014, Ground Water Resources in the Kolyma R. Valley and their Kolymian Hydro-Caused Changes, *Geocology. Geological Engineering. Hydrogeology. Geocryology*, no. 1, pp. 20–27 [In Russian].
- Kiryukhin, V. P., 1981, Hydrodynamic Zoning and Kinematic Modeling of Subsurface Drainage in Mountain-Folded Area, *Subsurface Waters Zoning in Platform and Mountain-Folded Areas*, Leningrad, GO USSR, pp. 12–25 [In Russian].
- Long-Term Data on Surface Water Regime and Resources*, 1985, vol. 1, RSFSR, iss. 17, *The Kolyma R. Area and Other River Areas in Magadan Region*, Leningrad, Gidrometeoizdat [In Russian].
- Principal Hydrological Characteristics (1961–1970 and the Entire Observation Period)*, 1974, vol. 19, North-East, Leningrad, Gidrometeoizdat [In Russian].
- Principal Hydrological Characteristics (1971–1975 and the Entire Observation Period)*, 1978, vol. 19, North-East, Leningrad, Gidrometeoizdat [In Russian].
- Principal Hydrological Characteristics*, 1966, vol. 19, North-East of the USSR, Leningrad, Gidrometeoizdat [In Russian].
- Pugachev, A. A., 2002, Soil-Vegetation Cover in Kolymian Water-Balance Station Area, *Formation Factors of Total Runoff of Small Mountain Rivers in Sub-Arctic Areas*, Magadan, NEISRI FEB RAS, pp. 141–166 [In Russian].
- Slaught, C. W., Glotov, V. E., Vireck, L. A. et al., 1995, Boreal Forest Catchments: Research Sites for Global Change at High Latitudes, *Water, Air and Soil Pollution*, vol. 82, pp. 351–361.
- Suschansky, S. I., 2002, The Foundation History of Kolymian Water-Balance Station, its Methods, Targets and Some Study Results, *ibid.*, Magadan, NEISRI FEB RAS, pp. 18–35 [In Russian].
- Ushakov, M. V., 2015, Peculiarities of Subsurface River Feeding on Different Slopes of the Great Divide of the Earth (as Exemplified by Rivers in the North-East of Russia), *Fundamental and Applied Problems of Hydrogeology*, Proceedings of Conference on Ground Water Resources in Russia (the 21st Conference on Ground Water Resources in Siberia and Far East), Yakutsk, July 22–28, Yakutsk, IM SO RAN Publishers, 2015, pp. 338–341 [In Russian].
- Water Balance Data of the Kolymian Station*, 1975, Magadan, KUGMS, 1977, iss. 16 [In Russian].