

МНОГОЛЕТНЯЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГОДОВОГО СТОКА воды и химических веществ Норило-Пясинской ВОДНОЙ СИСТЕМЫ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Впервые выполнена оценка многолетней изменчивости годового стока воды и химических веществ

Норило-Пясинской водной системы в условиях

антропогенного воздействия за период 1980-2003 гг.

Проведен сравнительный анализ водного и химического стока в целом системы и ее части, не подверженной прямому влиянию промышленности. Выявлена значительная антропогенная нагрузка на водную систему по химическим веществам, особенно по соединениям тяжелых металлов, нитратам и нефтепродуктам.

Введение

Норило-Пясинская водная система (НПВС) является уникальным азональным водосбором арктической зоны России, который представляет собой сеть озер, соединенных водотоками. Эта озерно-речная система находится в зоне лесотундры [1]. Но горный рельеф и климат западного склона плато Путорана являются существенными стокоформирующими факторами, отличающими эту территорию от соседних зональных водных объектов. Поэтому анализ многолетней изменчивости водного стока НПВС позволяет дать количественные оценки изменения водных ресурсов арктических азональных объектов в условиях меняющегося климата.

НПВС образует верхний водосборный бассейн р. Пясины, площадь которого составляет 24 тыс. км² при общей площади водосбора р. Пясины 182 тыс. км² (рис. 1). При этом водный сток НПВС составляет примерно 20% от суммарного стока р. Пясины в Карское море. По физико-географическим особенностям НПВС схожа с озерно-речной

В.В. Иванов*,
кандидат технических наук, старший научный сотрудник, заведующий отделом гидрологии устьев рек и водных ресурсов, ФГБУ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт

Е.В. Румянцева,
аспирант, ФГБУ Арктический и антарктический научно-исследовательский институт

системой верховьев бассейна р. Маккензи (арктическая зона Канады).

Наибольшее антропогенное воздействие НПВС испытывает от предприятий Норильского горно-металлургического комплекса и населенных пунктов Норильского района [2, 3]. Отсутствие источников загрязнения на транзитном и устьевом водосборном участке р. Пясины определяет роль НПВС как основного водного объекта водосбора реки, приносящего загрязненные воды, распространяющиеся вниз по течению в Карское море.

Специфика гидролого-гидрохимической изученности НПВС заключается в фрагментарности наблюдений, направленных, в основном, на решение прикладных задач освоения и развития промышленного района. Первые экспедиции (1919-1937 гг.) проводились с целью определения судоходности р. Пясины и оз. Пясино, а также рыбохозяйственного значения озер НПВС [4, 5].

Начало режимных гидрологических наблюдений на водных объектах НПВС относится к 1936-1937 гг., когда были организованы посты на р. Норилка (пос. Валек) и на малых реках бассейна озера Пясино в связи со строительством Норильского комбината [6]. Впоследствии наблюдения проводились на 60 речных и 17 озерных постах, среди которых преобладали двухгодичные наблюдения для целей инженерно-гидрологических изысканий. Исключения составили посты на оз. Лама, реках Норилка, Амбарная, Талнах, где имеются продолжительные ряды наблюдений.

* Адрес для корреспонденции: ivanov@aari.ru

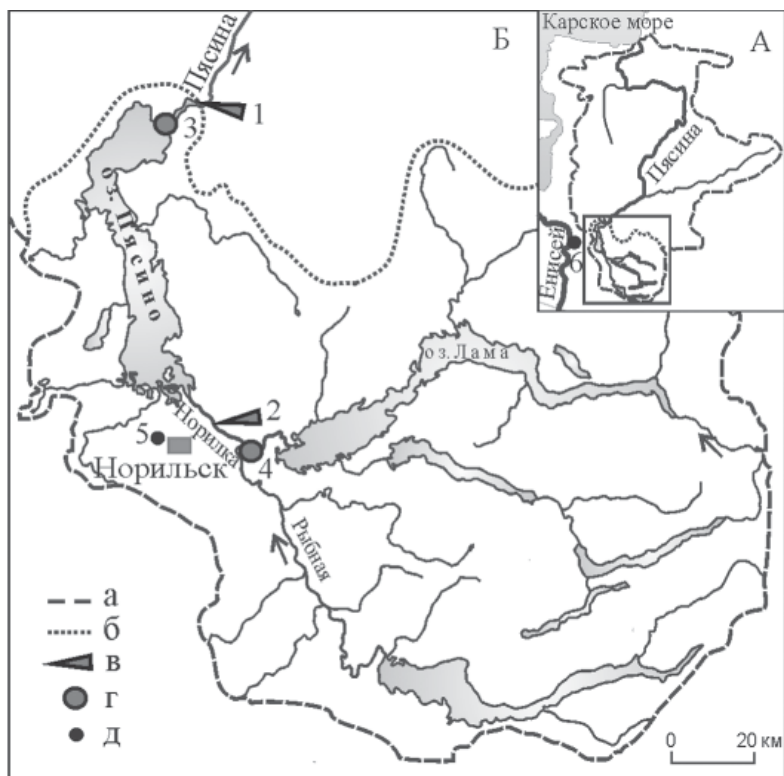


Рис.1. Водосбор реки Пясина (А) и НПВС (Б).
 а, б - границы водосборных бассейнов р. Пясина и НПВС; в - гидрологические посты: 1 - р. Пясина («Холомо» 7,9 км от истока, 2 - р. Норилка (пос. Валек), г - гидрохимические посты: 3 - оз. Пясино (0,5 км от истока р. Пясина), 4 - р. Норилка (1 км выше вп. р. Рыбная), д - метеостанции: 5 - Норильск, 6 - Дудинка.

Наблюдения за химическим составом воды осуществлялись на гидрологических постах НПВС с 1961 г., а затем в связи с созданием сети Государственной службы наблюдений за состоянием окружающей природной среды (в конце 70-х – начале 80-х годов) эти наблюдения стали проводиться на новых сетевых постах. К сожалению, системные наблюдения за состоянием водной среды были практически прекращены в 2003 г. Вследствие этого гидролого-гидрохимические наблюдения на водных объектах НПВС, как правило, имели короткие периоды и не синхронизированы во времени и пространстве, что представляло определенную сложность в оценке многолетней изменчивости стока воды и химических веществ из НПВС. На самой р. Пясина в настоящее время не проводятся режимные наблюдения за стоком и качеством воды, что не позволяет оценить процессы переноса стока воды и химических веществ из НПВС в Карское море.

Следует отметить, что ранее вопросу исследования водного и химического режима НПВС был посвящен ряд научных обобщений [7-9], наиболее полно гидрохимическое состояние НПВС на уровень до 1998 г. дано

в [3]. Однако в этих работах вопрос оценки водного и химического стока НПВС не затрагивался.

Целью исследования является оценка многолетней изменчивости годового стока воды и химических веществ НПВС за период 1980-2003 гг., когда гидрохимические наблюдения проводились по единой стандартной методике.

Материалы и методы исследования

Исходным материалом для проведения исследования послужили данные гидрологических, гидрохимических и метеорологических наблюдений сети Росгидромета [10-15]. Собранные данные по гидрохимическим показателям получены из Гидрохимического института при совместной научно-исследовательской работе [12]. Вследствие фрагментарности наблюдений на водных объектах НПВС потребовалось выполнение значительного объема работы по определению взаимосвязанных репрезентативных выборок гидрологических и гидрохимических данных, включая выбор опорных пунктов наблюдений. Наиболее полные гидрологические ряды наблюдений имеются в пункте р. Норилка (пос. Валек), который рассматривается как опорный, но его данных не достаточно для оценки стока всей системы. Гидрологические, гидрохимические и метеорологические пункты наблюдений, данные по которым в той или иной степени использованы в исследовании, обозначены на рис. 1.

Оценка многолетней изменчивости годового стока воды из НПВС производилась на основе сведений о годовом объеме водного стока из оз. Пясино в р. Пясина. Ввиду недостаточности прямых гидрологических наблюдений на выходе из оз. Пясино оценка стока производилась на основе расчета водного баланса озера с широким использованием метеорологических данных [16]. При этом следует отметить, что оценка притока воды в озеро с неизученной территории проводилась по аналогии с притоком с изученной территории, а приток подземных вод принимался равным фильтрации из озера. Межгодовые колебания запасов воды в озере не учитывались, т.к. оз. Пясино является проточным и мелководным с коэффициентом условного водообмена озера близким к 1. Из-за того, что уравнение водного баланса озера в данном исследовании рассматривается как средство определения поверхностного стока из озера, невязка баланса принималась равной нулю.

Поверхностный приток с изученной территории определялся по данным пункта р. Норилка (пос. Валек), площадь водосбора которого составляет 19,8 тыс. км² (82,5 % от площади водосбора озера). За 1983-1987 гг. водный сток р. Норилка восстановлен методом гидрологической аналогии по р. Хантайка (исток) при коэффициенте корреляции $r=0,9$ согласно принятым методическим указаниям [17].

Для подтверждения надежности оценок годового стока воды из оз. Пясино, выполненных на основе расчета водного баланса, производилось сравнение вычисленных и измеренных объемов стока из озера по пункту р. Пясино («Холомо», 7,9 км от истока) за 1946, 1947 гг. Сравнительный анализ показал, при принятых допущениях при стоке воды 15,8 км³ в 1946 г. невязка составила 1,3%, в 1947 г. при стоке 19,4 км³ - 0,5 %, что позволяет использовать вычисленные значения годового стока воды из озера в годы при отсутствии прямых гидрометрических измерений.

Годовой сток химических веществ НПВС рассчитан как произведение годового объема водного стока и среднеарифметической кон-

Ключевые слова:

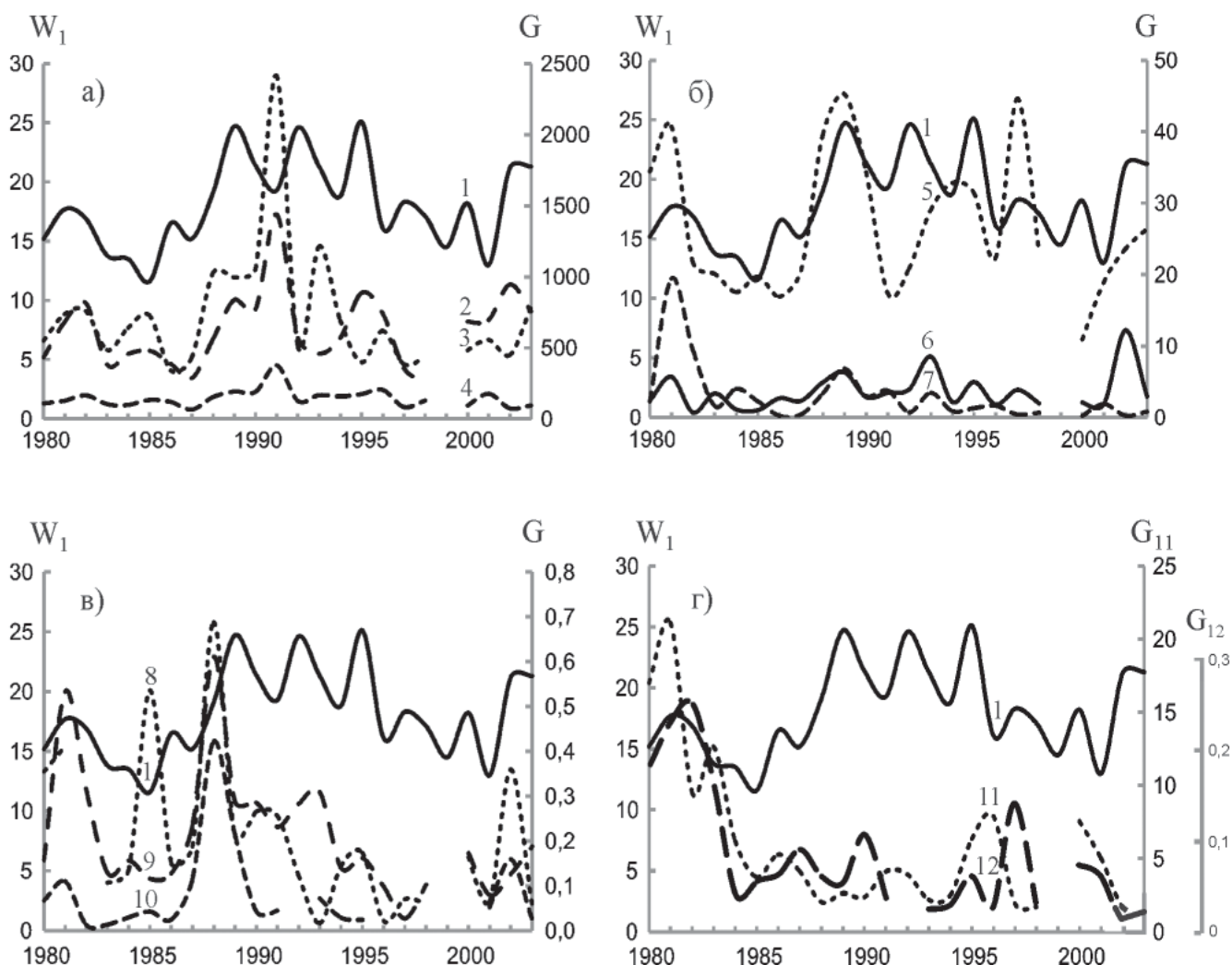
Норило-Пясинская водная система, река Пясино, сток воды, сток химических веществ, антропогенное воздействие

центрации химического вещества за год [18]. Для анализа использованы данные по главным ионам, в т.ч. сульфатам, гидрокарбонатам и хлоридам, легкоокисляемым веществам (ЛООВ) по БПК₅, аммонийному и нитратному азоту, фосфору фосфатному, соединениям меди, никеля, цинка и железа, летучим фенолам и нефтепродуктам.

Результаты и их обсуждение

В результате вычислен годово́й сток воды и химических веществ НПВС за период 1980-2003 гг. отдельно за каждый год (рис. 2) и среднееголетний сток, диапазоны колебаний за анализируемый период (табл. 1).

Рис. 2. Многолетняя изменчивость годового стока воды (W_1 , в км³/год) и химических веществ (G , в тыс.т/год) НПВС. а) главные анионы: 2 - гидрокарбонаты, 3 - сульфаты, 4 - хлориды; б) легкоокисляемые органические вещества (5) и минеральные формы азота: 6 - азот аммонийный, 7 - азот нитратный; в) соединения тяжелых металлов: 8 - никеля, 9 - меди, 10 - цинка; г) загрязняющие вещества: 11 - нефтепродукты, 12 - фенолы летучие.



За исследуемый расчетный период годовой сток воды НПВС изменялся в пределах 11,6–25,1 км³/год, среднегодовой сток составил 18,1 км³/год, при коэффициентах вариации и асимметрии 0,21 и 0,31, соответственно. Однородность и стационарность восстановленного ряда подтверждена при 5 % уровне значимости. За рассматриваемый период отмечена тенденция к увеличению годового стока воды из НПВС в р. Пясины, но утверждать о климатических изменениях стока невозможно. Следует подчеркнуть, что выполненные оценки среднегодового стока воды подтверждают аномалию его распределения относительно окружающих водосборов, отмеченную на ранее опубликованных картах стока [7, 8, 16].

Анализ колебания годовых величин стока химических веществ НПВС показал высокую временную изменчивость. Наиболее широкий размах колебания стока химических веществ наблюдается по сульфатам и гидрокарбонатам за период 1986-1992 гг., по соединениям тяжелых металлов за 1980-1990 гг., по нефтепродуктам за 1980-1985 гг.

Таблица 1

Диапазоны колебаний и среднегодовые значения стока химических веществ из НПВС в р. Пясины за период 1980-2003 гг.

№ по рис. 2	Ингредиент химического стока	п	Диапазоны колебаний, тыс. т/год	Средне-годовое значение	
				тыс. т/год	т/км ² год*
2	Гидрокарбонаты	169	265-1440	629	26,2
3	Сульфаты	172	341-2410	726	30,3
4	Хлориды	171	66-377	145	6,04
5	ЛООВ (по БПК ₅)	226	10,9-45,3	26,6	1,11
6	Азот аммонийный	171	0,704-12,2	3,61	0,150
7	Азот нитратный	170	0,182-19,5	2,99	0,125
8	Соединения никеля	227	0,018-0,688	0,207	0,009
9	Соединения меди	233	0,027-0,611	0,212	0,009
10	Соединения цинка	220	0,013-0,422	0,083	0,003
11	Нефтепродукты	226	1,43-21,1	5,78	0,241
12	Фенолы летучие	219	0,002-0,214	0,064	0,003
-	Главные ионы (по минерализации)	171	1100-5970	2094	87,3
-	Соединения железа	170	1,54-16,2	6,10	0,254
-	Фосфор фосфатный	166	0,045-0,970	0,221	0,009

п - кол-во проб воды, используемое в расчетах

* - при площади водосбора НПВС 24 тыс. км²

В целом в конце 90-х – начале 2000-х гг. годовой сток химических веществ характеризуется спадом и значительным уменьшением по сравнению с началом анализируемого периода.

Взаимосвязь значений водного и химического стока отмечается в некоторой степени по главным анионам (сульфатам, гидрокарбонатам и хлоридам) и ЛООВ, по другим рассматриваемым ингредиентам химического стока значимой связи межгодовой изменчивости с водным стоком не выявлено. Такая особенность соотношения стока химических веществ с водным стоком явно свидетельствует о высокой антропогенной составляющей химического стока НПВС. Поэтому оз. Пясино можно рассматривать как аккумулирующей водоем НПВС, принимающий сильно загрязненные воды рек Щучья и Амбарная, на которые приходится основной объем сточных вод Норильского промышленного комплекса.

С целью оценки антропогенной нагрузки на НПВС представляет интерес сравнение стока химических веществ из оз. Пясино относительно стока р. Норилка в створе 1 км выше впадения р. Рыбная. Данные о стоке химических веществ р. Норилка отражают состояние условно незагрязненной верхней части НПВС. Это сравнение было выполнено на материалах маловодного 2001 года, по которому имеются достаточно полные данные (табл. 2).

Коэффициент стока химических веществ сильно различается в зависимости от ингредиентов. Резкий разброс в коэффициентах можно объяснить как наличием залповых сбросов, так и качеством измерений. Коэффициент водного стока для сравниваемых водных объектов составляет 1,84, что почти совпадает с коэффициентом водосборных площадей этих объектов. По таким веществам, как ЛООВ, фосфаты, соединения железа и фенолы коэффициент стока химических веществ меньше коэффициента водного стока. Анализ химического стока по другим ингредиентам выявил значительное увеличение коэффициента стока НПВС, особенно по соединениям тяжелых металлов, нитратов и нефтепродуктов. Значительная антропогенная нагрузка на оз. Пясино по этим ингредиентам, отмеченная ранее в исследованиях по оценке диапазонов колебания концентраций и их средних значений озера [3, 19], подтверждается более полными данными. К числу приоритетных загрязняющих веществ относятся соединения меди, никеля, цинка, нефтепродукты и нитраты антропогенного происхождения.

Таблица 2

Сток химических веществ из НПВС в р. Пясино и р. Норилка (1 км выше впадения р. Рыбная) в маловодный 2001 год

№ по рис. 2	Ингредиент химического стока	НПВС в р. Пясино*		НПВС в р. Норилка (1 км выше вп. р. Рыбная)**		Коэффициент стока
		тыс. т	т/км ²	тыс. т	т/км ²	
2	Гидрокарбонаты	697	29,0	318	24,1	2,19
3	Сульфаты	557	23,2	240	18,2	2,32
4	Хлориды	177	7,38	33,4	2,53	5,30
5	ЛООВ (по БПК ₅)	19,0	0,792	12,0	0,909	1,58
6	Азот аммонийный	1,86	0,078	0,818	0,062	2,27
7	Азот нитратный	1,85	0,077	0,008	0,001	231
8	Соединения никеля	0,066	0,003	н.о.	н.о.	-
9	Соединения меди	0,079	0,003	0,019	0,001	4,15
10	Соединения цинка	0,052	0,002	0,009	0,0007	5,78
11	Нефтепродукты	5,00	0,208	0,563	0,043	8,88
12	Фенолы летучие	0,044	0,002	0,035	0,003	1,26
-	Главные ионы (по минерализации)	2070	86,3	831	63,0	2,49
-	Соединения железа	2,75	0,115	2,32	0,176	1,19
-	Фосфор фосфатный	0,048	0,002	0,030	0,002	1,60

н.о. - концентрации вещества ниже предела обнаружения

* - при площади водосбора НПВС 24 тыс. км²

** - при площади водосбора р. Норилка (1 км выше вп. р. Рыбная) 13,2 тыс. км²

Заключение

Впервые выполнена оценка многолетней изменчивости годового стока воды и химических веществ НПВС в условиях антропогенного воздействия за период 1980-2003 гг., которая дает основу для решения ряда научно-прикладных задач, включая оптимизацию государственной сети наблюдений, обеспечение единства и сопоставимости методов наблюдений на водных объектах, разработку региональных нормативов допустимого воздействия в арктической зоне Красноярского края.

Результаты показали, что оз. Пясино, являющееся заключительным звеном НПВС, выполняет роль регулятора и накопителя сбросов загрязняющих веществ Норильского горно-металлургического комплекса, особенно по тяжелым металлам и нефтепродуктам. Это необходимо учитывать при разработке системы мониторинга водных объектов бассейна р. Пясино в целом и выноса пресных вод и химических веществ в Карское море. Неотложным является восстановление системных наблюдений за стоком и качеством воды в истоке р. Пясино и на опорных пунктах многолетних наблюдений на р. Пясино у с. Кресты Таймырские и с. Усть-Тарая, а

также организация воднобалансовых исследований в этом районе.

Для оценки количественных характеристик последствий изменения климата и антропогенной деятельности на водные объекты НПВС на региональном уровне необходимо продолжить исследование гидрологического цикла, переноса и выпадения загрязняющих веществ из атмосферы и совершенствование методики оценки среднегодовых и сезонных значений концентраций ингредиентов.

Литература:

1. Пармузин Ю.П. Физико-географическое районирование Красноярского края / Ю.П. Пармузин, М.В. Кириллов, Ю.А. Щербаков // Материалы по физико-географическому районированию СССР (Сибирь и Дальний Восток). М.: Изд-во Моск. ун-та, 1964. С. 5-70.
2. Никаноров А.М. Реки Российской Арктики в современных условиях антропогенного воздействия / А.М. Никаноров, В.В. Иванов, В.А. Брызгалов. Ростов-на-Дону: Изд-во «НОК», 2007. 280 с.
3. Брызгалов В.А. Норило-Пясинская система в условиях антропогенного воздействия / В.А. Брызгалов, В.В. Иванов, О.И. Панасенкова // Экол. химия. 2001. № 10 (3). С. 174-188.
4. Таймыро-Североземельская область (Физико-географическая характеристика) / Под ред. Р.К. Сиско. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 374 с.

5. Адаменко В.Н. География озер Таймыра / В.Н. Адаменко, А.Ф. Изотова, Н.П. Ключикова. Л.: Наука, 1985. 224 с.

6. Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Л.: Гидрометеиздат, 1967. Т. 16. Вып. 1. 823 с.

7. Попов Е.А. Средний сток и внутригодовое распределение его на территории северо-западной части Средне-Сибирского плоскогорья // Труды III Всесоюз. гидрол. съезда. Л.: Гидрометеиздат, 1959. Т. 2. С. 217-224.

8. Иванов В.В. Среднегодовой поверхностный сток в Арктике // Тр. ААНИИ. 1976. Т. 323. С. 101-114.

9. Евсеев А.В. Горячие точки Российской Арктики / А.В. Евсеев, Т.М. Красовская, Н.П. Солнцева, А.П. Белоусова, В.В. Иванов. М.: ККЗМ, 2000. 301 с.

10. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши. Часть 1 и 2. Том I. Выпуск 12 за 1980-2003. Красноярск, 1982-2006.

11. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики. Том 16. Ангаро-Енисейский район. Выпуск 1. Енисей / Под ред. Г.С. Карабаева. Л.: Гидрометеиздат, 1967. 312 с.

12. Государственный водный кадастр. Ежегодные данные о качестве поверхностных вод суши. Часть 1 и 2. Том 1 (22). Выпуски 10, 12, 13, 16 за 1980-2003. Красноярск, 1981-2004.



13. Метеорологический ежегодник. Часть 2. Выпуск 21 за 1980-2003 гг. Красноярск, 1981-2004.

14. Климатический справочник СССР. Выпуск 21. Красноярский край и Тувинская область. Метеорологические данные за отдельные годы. Атмосферные осадки, снежный покров. Л.: Гидрометеиздат, 1956. 167 с.

15. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Многолетние данные. Части 1-6. Выпуск 21. Красноярский край, Тувинская АССР. Книга 1. Л.: Гидрометеиздат, 1990. 623 с.

16. Методы изучения и расчета водного баланса. Л.: Гидрометеиздат, 1981. 397 с.

17. СП 33-101-2003. Свод правил. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М.: Госстрой России, 2004. 73 с.

18. РД 52.24.508-96. Методические указания. Организация и функционирование подсистемы мониторинга состояния трансграничных поверхностных вод суши. М.: Метеоагентство Росгидромета, 1999. 44 с.

19. Румянцева Е.В. Анализ трансформации гидрохимического режима озера Пясино под влиянием антропогенной деятельности // Исследования молодых географов: Сб. ст. победителей секции «География» XVII Междунар. молодеж. науч. конф. «Ломоносов». М.: МАКС Пресс, 2010. С. 50-54.



V.V. Ivanov, E.V. Rumyantseva

LONG-TERM VARIABILITY OF ANNUAL RUNOFF OF NORILO PYASINSK-WATER SYSTEM

The long-term variability of annual water runoff and runoff of chemicals of Norilo-Pyasinskaya Water System under anthropogenic impact conditions (1980-2003) was evaluated for the first time. The comparative analysis of water

and chemical runoff of the whole system and some of its parts has been carried out. The anthropogenic load level of the Pyasino Lake as the final link of water system was determined. The measures of improvement of the state observation network of

basin the Pyasina River have been proposed.

Key words: Norilo-Pyasinskaya Water System, runoff, Pyasina River, runoff of chemicals, anthropogenic impact