

УДК 556.535.5;556.168

DOI: 10.34753/HS.2019.1.2.004

**ПРОГНОЗ ЭКСТРЕМАЛЬНОГО
ЗИМНЕГО МАЛОВОДЬЯ РЕКИ
НОРИЛКИ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ
УСТОЙЧИВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ**

С.А. Журавин, М.Л. Марков

*Государственный гидрологический институт,
г. Санкт-Петербург, Россия
2014mml@gmail.com*

Аннотация. Объектом исследования является р. Норилка (р. Норильская), расположенная на севере Красноярского края. Работа выполнена с использованием многолетних данных гидрометеорологических наблюдений на сети Росгидромета и «Таймырской гидрометеорологической экспедиции». В бассейне р. Норилки, как и в целом в регионе Таймыра, в период с октября 2012 по май 2013 года выпало всего 45% от нормы осадков, в результате чего сформировалось чрезвычайно низкое весеннее половодье. Питание больших озер, которые формируют сток реки, также было ограничено, поскольку в летний период установилась сухая жаркая погода. Это вызвало большую обеспокоенность в отношении водообеспеченности водозаборов крупнейшего в России горнообогатительного комбината в городе Норильске в зимний период 2014 года. Возникшая ситуация потребовала решения комплекса гидрологических задач, основная из которых – разработка прогноза минимальных расходов воды на зимний период 2014 года. Прогноз разработан на основе

**FORECASTING OF THE
EXTREME WINTER LOW
FLOW FOR THE NORILKA
RIVER**

Sergey A. Zhuravin, Mikhail L. Markov

*State Hydrological Institute,
St. Petersburg, Russia
2014mml@gmail.com*

Abstract. The object of the study is the Norilka River, located in the North of the Krasnoyarsk territory. Only 45% of the norm of precipitation fell in the basin of the Norilka River for the period from October 2012 to May 2013, that resulting in an extremely low spring flood formation. The feeding of the large lakes that form the river flow was also limited, as dry weather set in during the summer. This caused great concern regarding the water availability of water intakes of mining and processing plant in the city of Norilsk for the winter of 2014. The situation required the solution of a complex of hydrological tasks, the main of which is the development of a forecast of minimum water consumption for the winter of 2014. The forecast was developed using relationship between area pre-winter moistening with intensity of

анализа связи предзимнего увлажнения территории с интенсивностью снижения зимнего стока. Так как мощность ледяного покрова может существенно влиять в этом регионе на пропускную способность русел рек, то в прогнозе учтены прогнозируемые температуры воздуха зимы 2013-2014 годов. В результате расчетов установлено, что минимальный месячный сток в апреле составит $22 \text{ м}^3/\text{с}$, суточный – $20 \text{ м}^3/\text{с}$ при погрешности около $\pm 5 \text{ м}^3/\text{с}$. Полученные результаты явились основой для проведения мероприятий, направленных на обеспечение устойчивого водоснабжения с потребностью в $7 \text{ м}^3/\text{с}$. Ниже водозаборов в августе-сентябре 2013 года была обустроена грунтовая перемычка, создавшая подпор на участке водозаборов. Фактический расход в апреле 2014 года составил около $14 \text{ м}^3/\text{с}$. При ширине реки почти 200 м, формировании на ней гряд и льда мощностью до 1,5-2 м этот расход воды мог не обеспечить приток в водозаборные ковши. Поэтому строительство перемычки было оправданным и перебоев водоснабжения комбината не произошло. Методические подходы, примененные к решению данной задачи, могут быть полезны при возникновении аналогичных ситуаций в северных регионах России.

Ключевые слова: север Красноярского края; экстремальное маловодье; ледовый режим; прогноз; зимний сток рек; устойчивое водоснабжение

the winter runoff depletion. Since the capacity of the ice cover can significantly affect to decrease of the river flow, the hydrological forecast takes into account the long-term air temperatures forecast for 2013-2014 winter period. It was obtained the forecast that the minimum monthly discharge for April would be at about $22 \text{ м}^3/\text{с}$, meanwhile daily discharge $20 \text{ м}^3/\text{с}$. The received results were a basis for carrying out the measures directed on maintenance of steady water supply with need discharge in $7 \text{ м}^3/\text{с}$. The low ground dam below water intakes was arranged at backwater on a site of water intakes for August-September 2013. The actual flow discharge for April 2014 was about $14 \text{ м}^3/\text{с}$. Therefore, the construction of the dam was justified and interruptions of water supply of the plant did not happen. The methodological approaches applied to the solution of this problem can be useful in case of similar situations in the Northern regions of Russia.

Keywords: North of Krasnoyarsk region; extreme low flow; ice regime; forecast; winter river flow; sustainable water supply

Введение

Зимняя межень часто является лимитирующим фактором для функционирования водохозяйственных комплексов. При их проектировании, согласно принятым нормативно-методическим документам, разрабатываются статистические прогнозы маловодий. Вместе с тем, для планирования водоснабжения остается актуальным, особенно в экстремально низкую водность, прогноз на конкретный срок. Такая острая потребность в прогнозе сложилась у ПАО «ГМК «Норильский никель» в зимний период 2013-2014 годов. В предшествующий период с октября 2012 по май 2013 года, по данным «Талнахской гидрометеорологической экспедиции», выпало всего 45% от нормы осадков, в результате чего сформировалось очень низкое весеннее половодье. Питание озер Мелкое, Лама, Кета, Глубокое и Собачье, которые формируют сток реки Норилки в течение теплого периода года, также было ограничено, поскольку в летний период установилась сухая жаркая погода. Наша экспертная оценка вероятного зимнего минимального суточного расхода воды 2014 года, основанная на ретроспективном анализе данных гидрологических наблюдений, показала, что его величина может колебаться в пределах 5-25 м³/с. Был сделан предварительный вывод, что суточный меженный зимний расход в апреле 2014 года может достичь абсолютного минимума за период гидрологических наблюдений, которые проводятся на р. Норилке в створе п. Валек с 1937 года. Такой низкий сток не смог бы обеспечить нормальное функционирование предприятий Норильского промышленного района с минимальной потребностью водоснабжения из реки в 7 м³/с. Поэтому было принято решение о проектировании и строительстве на реке Норилке временной заниженной перемычки, создающей подпор и небольшое водохранилище на участке водозаборов. Проектирование потребовало решения комплекса гидрологических задач, одна из которых была связана с более обоснованным прогнозом минимального стока в конце зимней межени (апрель-май). Этот прогноз был разработан в Государственном гидрологическом институте (ФГБУ «ГГИ»). Цель настоящей статьи – представить его методику, поскольку многолетние изменения климата повысили опасность возникновения подобных ситуаций в арктических регионах России [Climate Change, 2007; Анисимов, Жильцова, 2012] и опыт подобных прогнозов может быть востребован и в других случаях.

Объект исследований и исходная информация

Объектом исследований является р. Норилка (Норильская). Площадь водосбора р. Норилки в створе п. Валек составляет 19600 км². Большая его часть расположена в горах плато Путоран, имеющих высоты до 1200-1600 м и более. Эта часть водосбора характеризуется рядом отдельных поднятий, блоков и возвышенностей, расчлененных глубокими разломами, занятыми речными долинами и глубокими озерами (озеро Лама, в частности, имеет глубину более 200 м).

На северо-западе к горам Путорана примыкает тектоническая депрессия, называемая «Норильской долиной», по дну которой протекает р. Норилка. Всхолмленное дно этой депрессии сложено ледниковыми отложениями, высотные отметки колеблются от 50 м до 100 м, повышаясь к краям до 200 м и более. Для этой части водосбора типично распространение многочисленных небольших бессточных озер. В расширенной котловинообразной части депрессии расположено обширное оз. Мелкое с площадью водного зеркала 270 км².

Мощность многолетнемерзлых пород рассматриваемой территории составляет 200-400 м, глубина сезонно-талого слоя почво-грунтов колеблется от нескольких десятков сантиметров до 3-4 м. В районе равнины и на склонах гор имеется выход источников, некоторые из которых характеризуются высоким дебитом (до 100 л/с).

Часть поверхности долины и склоны примыкающих к ней гор покрыты редкостойным лиственничным лесом, который местами поднимается до отметок 500 м. Выше расположена мохово-лишайниковая тундра. Вершины возвышенностей и гор заняты гольцами.

Гидрографическая система бассейна р. Норилки представляет собой две системы озер. В первую из них входят озера непосредственно системы р. Норилки – Мелкое, Лама, Глубокое, Собачье и ряд более мелких озер, водосборы которых составляют около 70% бассейна реки. Сток из них через систему проток поступает в оз. Мелкое, из которого вытекает собственно р. Норилка. Вторая система включает озеро Кета и вытекающую из него р. Рыбную – основной левый приток р. Норилки. Таким образом, р. Норилка фактически является протокой от оз. Мелкое к оз. Пясины и ее сток, несмотря на то, что озера занимают только около 5% площади водосбора и являются слабо проточными, полностью зависит от озерного регулирования [Ресурсы поверхностных вод СССР, 1973].

Исходной гидрологической информацией послужили материалы наблюдений за стоком и уровнем воды, ледовыми явлениями на гидрологическом посту, который расположен

в 2,3 км ниже п. Валек в 200 м ниже моста. Наблюдения проводились в период 1937-1982 гг., 1988-2005 гг., 2009 г.-по настоящее время.

Для анализа гидрометеорологической обстановки использованы данные наблюдений «Талнахской гидрометеорологической экспедиции» (ранее в составе системы Гидрометслужбы) за период 1933-38, 1949-58, 1962-1995, 2000-2013 годы.

Анализ исходной информации и методика прогноза

Анализ формирования стока воды р. Норилки показал, что определяющие объем весенне-летнего половодья и бассейновых запасов влаги осадки выпадают в период с октября по июль включительно. Именно эти осадки определяют в дальнейшем формирование зимней межени следующего года.

Сумма осадков за период с октября 2012 по июль 2013 года составила наименьшую за период наблюдений величину – 201 мм. Близкие по величине осадки за этот период наблюдались только в 1936-37 гидрологическом году и составили 204 мм. Всего случаев, когда за указанный период выпадали осадки суммой менее 300 мм, наблюдалось 10 из 58-и в ряду наблюдений, и все они сопровождались последующей низкой зимней меженью. При этом в двух случаях такие годы выпадали сериями по три года (1950-53 и 1982-85 годы).

Кривая обеспеченности суммы осадков за период X-VII (Таблица 1) показывает, что эта величина для 2013 года имеет исключительно редкую вероятность, равную примерно 97% вероятности превышения.

Таблица 1. Величины сумм осадков, формирующих основные бассейновые запасы влаги (X-VII), различной вероятностью превышения

Table 1. Precipitation sums forming the main basin moisture resources (X-VII) with different probability of exceeding

P, %	1	5	10	50	75	80	90	95	98
P, мм	503	464	442	357	308	295	260	230	196

$P_{cp} = 353$ мм, $C_v = 0,2$, $C_{s/cv} = -1,5$

Формирование стока воды рассматривается за гидрологический год, который, как было отмечено выше, продолжается с октября по сентябрь следующего года.

С начала октября в регионе практически всегда устанавливается отрицательная температура воздуха как на возвышенностях, так и на равнинных территориях. Питание рек

поверхностными осадками в это время прекращается, и режим стока воды определяется бассейновыми запасами влаги, которая была накоплена в озерах и горизонтах подземных вод.

Подземные воды в бассейне находятся в основном в твердой фазе, то есть в виде льда, ввиду большой глубины залегания многолетнемерзлых пород. Поэтому подземное питание рек осуществляется преимущественно в теплый период года из маломощных щебенистых горизонтов надмерзлотных вод и незначительно по величине. Питание гидрографической сети из более глубоких горизонтов осуществляется в зонах разрывных нарушений, особенно в таликовых зонах крупных глубоких водоемов. Однако такие зоны ограничены по площади и также не оказывают существенного влияния на режим меженного стока, обеспечивая, тем не менее, определенный минимум стока.

Основным источником питания р. Норилки в холодный период года являются запасы воды, накопленные в озерных системах. Эти запасы в течение зимы срабатываются по экспоненциальной кривой спада, нарушаемой ледовыми явлениями и процессами, вплоть до апреля, который является лимитирующим потреблением воды месяцем. В апреле, с ослаблением морозов, сток стабилизируется на минимальных уровнях, а к концу месяца, как правило, начинается его медленный рост, хотя поверхностного притока воды в гидрографическую систему реки еще не происходит. В мае сток продолжает медленно повышаться и в конце месяца обычно начинается половодье.

Как было отмечено выше, основным источником питания р. Норилки в холодный период года, то есть с октября по апрель включительно являются воды, накопленные в озерных системах в течение всего теплого периода, прежде всего в период весенне-летнего половодья и налагающихся на него дождевых паводков июня-июля. За этот период в формировании стока участвует от 2/3 до 3/4 суммы годовых осадков. В случае выпадения значительных осадков в августе-сентябре могут формироваться довольно значительные дождевые паводки, которые, однако, быстро срабатываются в течение сентября – первой половины октября ввиду незначительной регулирующей емкости озерных систем и оказывают либо очень ограниченное влияние на зимний меженный сток, либо не оказывают его совсем.

Таким образом, величина предзимних бассейновых запасов воды характеризуется расходом воды в начале гидрологического года – октябре, когда срабатываются локальные повышения стока, вызванные сентябрьскими осадками. Измерения расходов воды в этот период затруднены и возможным предиктором бассейновых запасов может служить расход воды, измеренный в конце сентября (в случае отсутствия значительных осадков в сентябре), либо полученный по типовой спадовой кривой. Однако наилучшим вариантом представляется

все-таки установившийся расход воды после образования ледостава на реке и стабилизации шероховатости на его нижней поверхности.

Гидрометрические наблюдения на р. Норилке в створе п. Валек показывают, что для маловодных лет с последующей низкой зимней меженью расход воды на конец октября варьирует от года к году в пределах от 170 м³/с до 370 м³/с, понижаясь в течение месяца до 100-300 м³/с. Измеренный расход в створе 10,9 км выше автодорожного моста 30.09.2013 составил всего 187 м³/с, то есть наименьшую за весь период наблюдений величину. В очень маловодные 1978 и 2004 годы расход воды на эту дату был примерно на 90 м³/с выше.

В дальнейшем в течение зимы происходит истощение бассейновых запасов воды. Кривые истощения, в случае выпадения незначительного количества осадков в сентябре, начинают достаточно отчетливо формироваться уже в этом месяце предыдущего гидрологического года. Небольшие отклонения возможны только при выпадении существенных осадков или локальных похолоданиях. Следует отметить, что часть осадков, выпадающих в это время на каменные осыпи, просачиваясь вглубь, замерзает и переходит в фазу гольцовых льдов.

В первой-второй декадах октября на реках и озерах начинает образовываться шуга, которая на реках увеличивает сопротивление потоку (шероховатость) и вызывает увеличение уровней воды при том же расходе воды.

Во второй половине октября формируется ледовый покров на реках и озерах. Толщина льда увеличивается в течение всей зимы вплоть до мая, ежегодно достигая на р. Норилке в стрежне русла в среднем 130-150 см. Наиболее интенсивный рост толщины льда наблюдается преимущественно в первые зимние месяцы – октябрь-декабрь. В дальнейшем рост толщины льда замедляется, а в отдельные годы в течение января-февраля его рост может даже приостанавливаться. При этом максимальная толщина льда не зависит напрямую от суммы отрицательных температур воздуха за холодный период, поскольку на ее формирование оказывают влияние высота снега на льду, величина стока воды, продолжительность и чередование периодов с очень низкими и относительно высокими температурами воздуха.

Самая большая максимальная толщина льда (186 см) наблюдалась на р. Норилке в конце зимы в 1969 году, когда сумма отрицательных средних месячных температур воздуха за период с ноября по март составила 184,4°C, хотя в 1966 году при близких величинах температур она составила всего 136 см. В 2011 году при самой теплой зиме (сумма температур составила -121,4°C) наблюдалась толщина льда 165 см. Следует отметить, что толщина льда

на р. Норилке является не вполне корректным показателем, поскольку основное воздействие льда на сток происходит на выходе рек из озер и на самих озерах.

Между тем, зимние температуры оказывают очевидное косвенное воздействие на формирование зимнего меженного стока [Гуревич 2009; Shrestha et. al., 2012; Schnorbus, Werner, Bennett, 2014]: первые холодные месяцы кривые истощения стока в основном следуют классической схеме. Однако в период с января по апрель они могут заметно отклоняться от классической кривой истощения (рисунок 1).

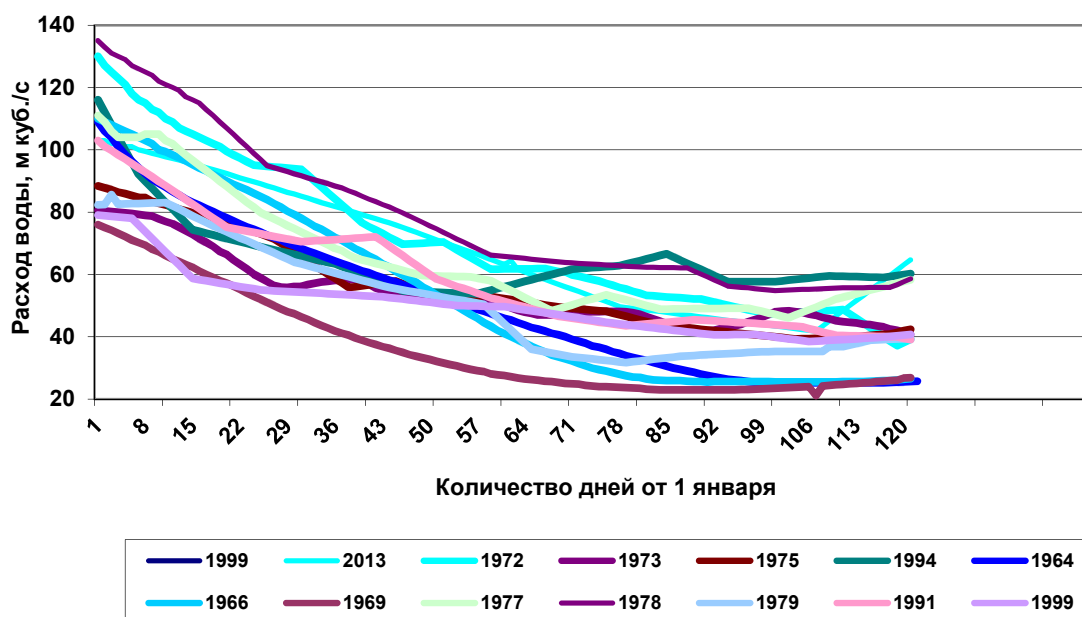


Рисунок 1. Кривые истощения стока р. Норилки за выборочные годы с наиболее низкой зимней меженью

Figure 1. Recession curves of the Norilka River for the selected years with the lowest winter base flow

Это происходит вследствие ряда причин: помимо прямого воздействия ледового покрова на сток в результате отъема воды на ледообразование и его косвенного влияния в результате изменения гидравлических характеристик потока, ледовый покров влияет на режим поступления в гидрографическую сеть подземных вод. Поэтому при долгосрочном прогнозе меженного зимнего стока необходимо вводить сценарную поправку на зимние условия, рассматривая возможность холодной, нормальной (средней по температурному режиму) и теплой зимы.

Зимний сток рек осуществляется преимущественно за счет их питания подземными водами. Для р. Норилки дополнительным источником питания являются воды озер, в которых

к концу теплого периода аккумулируется значительный объем воды. На гидрограф зимнего стока может оказывать влияние также ледяной покров, который изменяет дренирующую роль гидрографической сети за счет стеснения площади живого сечения потока подо льдом [Гуревич, 2009]. Снижение расхода воды зимой в реке по мере уменьшения подземного питания и сработки емкости озер достаточно точно описывается зависимостью, представляющей частный случай известных уравнений Майе-Буссинеска:

$$Q_i = Q_0 \exp(-at) \pm \Delta q, \quad (1)$$

где Q_i – расход воды на i -тый момент времени t ;

Q_0 – начальный расход воды;

a – безразмерный параметр;

t – порядковый номер месяца от начала зимы;

Δq – изменение стока реки по отношению к средним зимним температурным условиям, связанное с изменением пропускной способности руслового потока при формировании ледяного покрова.

Уравнение (1) принято для разработки прогноза минимального зимнего стока зимы 2013-2014 годов р. Норилки.

По данным наблюдений на гидрологическом посту в д. Валек начиная с зимы 1939-1940 годов определены параметры уравнения (1) по средним месячным расходам воды в р. Норилке (таблица 2).

Начальный зимний расход воды Q_0 зависит от предшествующего увлажнения бассейна. Показателем предзимнего увлажнения принят средний месячный расход воды в реке в сентябре $Q_{ср9}$, с которым установлена связь Q_0 (рисунок 2).

Параметр интенсивности истощения стока, a , при неизменных гидрогеологических условиях связан с начальным расходом воды Q_0 . Чем больше увлажненность бассейна и объем аккумулированной воды в озерах, тем интенсивнее идет их сработка в начальный период (рисунок 3).

Таблица 2. Параметры уравнения (1)

Table 2. Parameters of equation (1)

Год	Q_0	a	Год	Q_0	a
1940	1385	-0,474	1972	743	-0,368
1941	777	-0,472	1973	465	-0,336
1942	1333	-0,416	1974	1175	-0,428
1943	874	-0,374	1975	851	-0,425
1944	806	-0,333	1976	590	-0,347
1945	1256	-0,414	1977	768	-0,386
1946	741	-0,359	1978	653	-0,330
1947	749	-0,396	1979	427	-0,336
1948	958	-0,354	1980	511	-0,323
1949	671	-0,332	1981	713	-0,346
1950	756	-0,358	1982	533	-0,335
1951	691	-0,337	1989	1325	-0,347
1952	1077	-0,404	1990	1419	-0,452
1953	1200	-0,411	1991	655	-0,376
1954	1013	-0,369	1992	871	-0,358
1955	1086	-0,39	1993	807	-0,358
1956	586	-0,361	1994	588	-0,336
1957	450	-0,326	1995	865	-0,343
1958	539	-0,336	1996	825	-0,371
1959	637	-0,375	1997	426	-0,274
1960	450	-0,351	1998	653	-0,350
1962	819	-0,392	1999	497	-0,357
1963	778	-0,389	2000	705	-0,342
1964	769,9	-0,431	2001	776	-0,380
1965	1184	-0,434	2003	781	-0,397
1966	791	-0,439	2004	976	-0,362
1967	900	-0,382	2005	470	-0,285
1968	910	-0,338	2009	563	-0,288
1969	1004	-0,52	2010	1020	-0,342
1970	573	-0,339	2011	859	-0,359
1971	627	-0,374	2012	834	-0,283

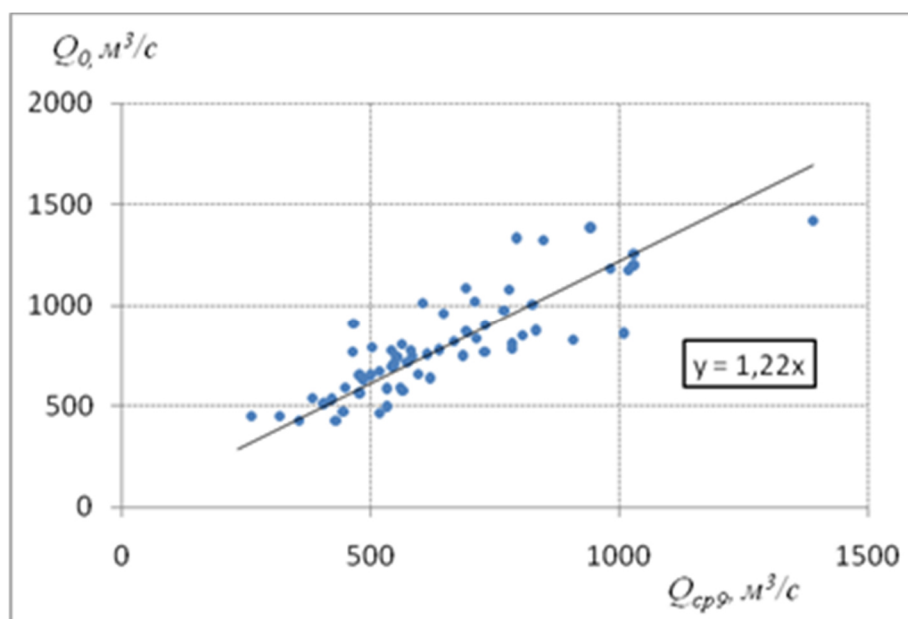


Рисунок 2. Связь начального расхода зимы Q_0 со средним месячным расходом воды в р. Норилке в сентябре $Q_{ср9}$

Figure 2. Relationship between the initial winter discharge Q_0 and the mean monthly discharge for September Q_{av9} at the Norilka River

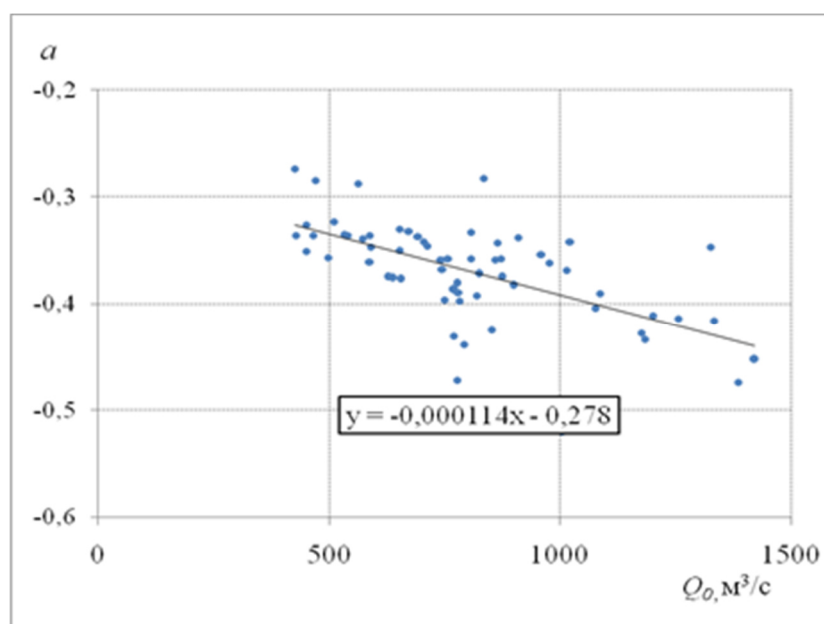


Рисунок 3. Связь коэффициента истощения стока, a , с начальным зимним расходом воды Q_0

Figure 3. Relationship of the flow depletion coefficient a and initial winter discharge Q_0

Оценить влияние ледяного покрова на гидрограф зимнего стока не представляется возможным из-за невысокой точности определения толщины льда, как в гидрометрическом створе, так и при переносе этой характеристики на весь ледовый режим по гидрографической

сети. Поэтому изменение минимального зимнего стока, связанное с суровостью зимы, оценено по связи с суммой средних месячных температур воздуха за ноябрь-март (рисунок 4). Температура воздуха взята по метеостанции Таймырского филиала. Учитывая, что интенсивный рост льда наблюдается в первые месяцы (50-70% максимальной толщины), приняты следующие весовые коэффициенты при расчете суммы отрицательных температур воздуха:

$$\Sigma(T) = 1,5T_{\text{ноябрь}} + 2T_{\text{декабрь}} + T_{\text{январь}} + T_{\text{февраль}} \quad (2)$$

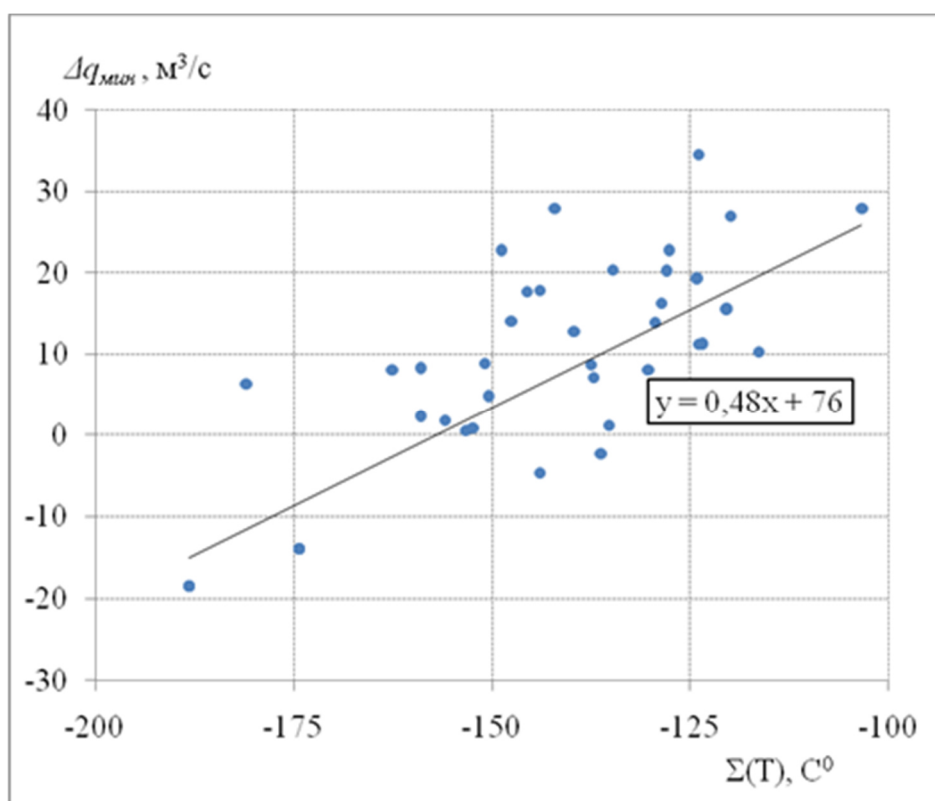


Рисунок 4. Связь изменения минимального зимнего 30-ти суточного стока $\Delta q_{\min}$ с суммой отрицательных температур воздуха за октябрь-март $\Sigma(T)$

Figure 4. Relationship of minimum 30 days discharge changes for the Norilka River $\Delta q_{\min}$ and sum of monthly air temperature for October-March $\Sigma(T)$

Прогноз минимального апрельского расхода воды в р. Норилке был осуществлен по уравнению (1) с учетом уравнений, приведенных на рисунках 2-3.

Средний месячный сток в сентябре в р. Норилке по данным Талнахской гидрометеорологической экспедиции составляет $Q_{\text{ср9}} = 207 \text{ м}^3/\text{с}$. В соответствии с уравнением на рисунке 2 Q_0 составил $252 \text{ м}^3/\text{с}$.

По прогнозу Гидрометцентра России с вероятностью до 70% предстоящая зима (2013-2014 годов) в районе г. Норильска ожидалась около климатической нормы. При этом следует отметить, что возможности сезонного прогноза весьма ограничены. Его оправдываемость за последние 15 лет не превышала 58-81%. Из-за невысокой оправдываемости долгосрочного прогноза температуры воздуха прогноз стока был разработан для двух сценариев климатической ситуации зимой: среднего и наиболее критичного, то есть холодного по температуре воздуха.

Если зима по температурному режиму близка к средним многолетним значениям, то «ледовую» составляющую можно не учитывать и принять коэффициент истощения стока, a , по уравнению, приведенному на рисунке 3, равным $-0,307$. Таким образом, минимальный средний месячный сток в реке Норилке в условиях «средней» по температуре воздуха зимы в апреле по прогнозу должен был составить $22 \text{ м}^3/\text{с}$.

Если ожидалась холодная зима, то сумма температур воздуха должна была составить -175 С^0 (при вероятности превышения 5%), а средний месячный апрельский расход, в соответствии с приведенным на рисунке 4 графиком связи, мог достигнуть величины $14 \text{ м}^3/\text{с}$, что, в конечном итоге и оправдалось.

Для определения минимального суточного расхода воды была установлена связь, приведенная на рисунке 5. В соответствии с приведенным на этом рисунке уравнением минимальный суточный сток в р. Норилке составит в холодную зиму $13 \text{ м}^3/\text{с}$, в среднюю – $20 \text{ м}^3/\text{с}$. Такой расход воды, распределенный по ширине реки с движением в русле микроформ-гряд и мезоформ-ленточных гряд зимой может не обеспечить необходимый приток воды к двум водозаборам по обе стороны реки.

По данным многолетних гидрологических наблюдений определены расчётные значения минимального месячного и суточного стока р. Норилки (таблица 3). В соответствии с этими данными ожидался минимальный сток в среднюю по температуре зиму, близкий по величине к 97%, а в холодную зиму – и 99,5% обеспеченности. Поэтому необходимость принятия решения АО «Норильско-Таймырская энергетическая компания» совместно с ГМК «Норильский никель» о строительстве дорогостоящей перемычки на реке (рисунок 6) была обоснована гидрологическими условиями.

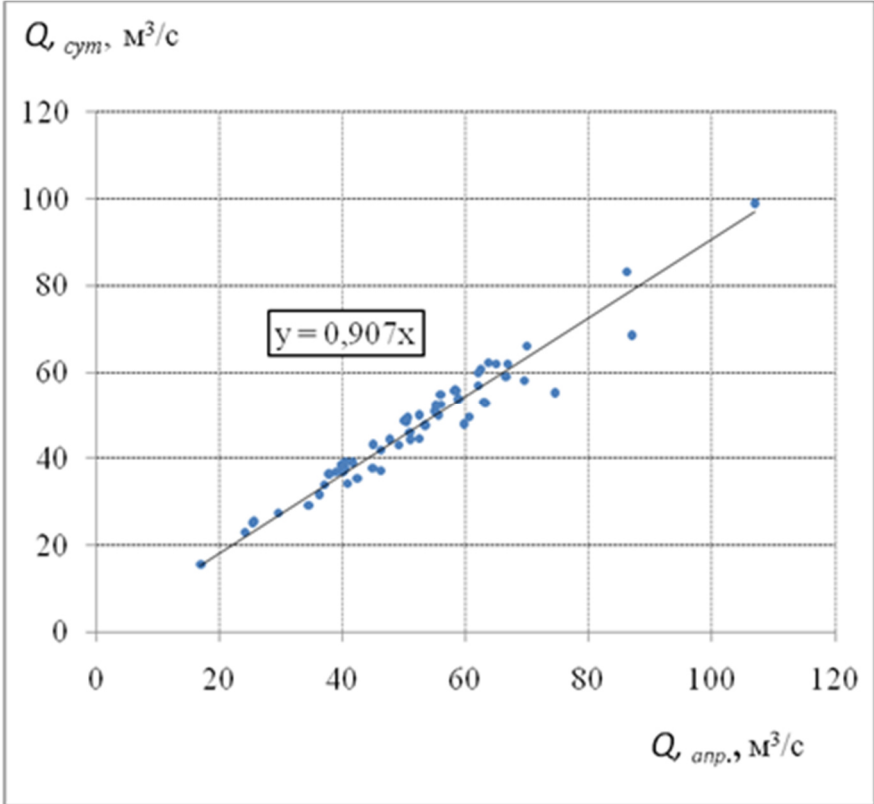


Рисунок 5. Связь минимального суточного расхода воды $Q_{\text{сут}}$ р. Норилки с минимальным средним месячным расходом $Q_{\text{апр}}$

Figure 5. The relationship of the minimum daily water flow rate of the Norilka river with the minimum average monthly flow rate of APR

Таблица 3. Параметры кривой распределения вероятностей превышения минимального месячного и суточного стока р. Норилки

Table 3. Parameters of the probability distribution curve for exceeding the minimum monthly and daily flow of the Norilka River

Характеристика	Средн.	C_v	C_s/C_v	Вероятность превышения, %								
				5	10	50	75	80	90	95	98	99
Мин. 30-сут. расход, $\text{м}^3/\text{с}$	50,1	0,26	-1,5	70,0	66,2	51,0	41,8	39,3	32,7	27,1	20,5	15,9
Мин. суточный. расход, $\text{м}^3/\text{с}$	45,0	0,24	-3,0	60,4	58,0	46,4	38,6	36,4	30,4	25,1	18,7	13,9



Рисунок 6. Общий вид русловой перемычки на р. Норилке

Figure 6. General view of the dam on the Norilka River

Заключение

В результате выполненных исследований установлено, что 2013 год являлся уникальным по метеорологическим условиям. Количество осадков, формирующих зимний сток 2013-2014 годов, составило около 57% нормы и имело исключительно редкую вероятность, равную 97% вероятности превышения.

Низкая обеспеченность осадками бассейна р. Норилки привела к высокой вероятности снижения стока в конце зимы до $13-20 \text{ м}^3/\text{с}$ (97-99% вероятности превышения). Наименьшие значения минимального суточного стока прогнозировались в случае, если температура воздуха в холодный период будет ниже средней многолетней. По прогнозам Гидрометцентра ожидалось с вероятностью до 70% (при оправдываемости прогнозов 60-80%), что зима будет близкой к климатическим нормам. В этом случае минимальный месячный сток в апреле должен был по прогнозу составить $22 \text{ м}^3/\text{с}$, суточный – $20 \text{ м}^3/\text{с}$. Учитывая неопределенность в метеорологическом прогнозе, погрешность расчета минимального стока принята ориентировочно $\pm 5 \text{ м}^3/\text{с}$. Фактический расход в апреле 2014 года составил около $14 \text{ м}^3/\text{с}$. При ширине реки почти 200 м, формировании на ней гряд и льда мощностью до 1,5-2 м этот расход воды мог не обеспечить приток в водозаборные ковши. Поэтому строительство перемычки было оправданным и необходимым для повышения уровня и создания требуемого ресурса воды на период экстремально низкого стока.

Для увеличения точности прогнозов и оптимального управления водным режимом р. Норилки в перспективе целесообразно расширить сеть пунктов гидрометеорологических наблюдений. Особенно это касается режима озер и определения снегозапасов на конец зимы в горной части бассейна р. Норилки. Эти вопросы могут быть решены, в том числе с использованием дистанционных методов зондирования земли современными космическими спутниками.

Литература

References

Анисимов О.А., Жильцова Е.Л. Об оценках изменений климата регионов России в XX в. и начале XXI в. по данным наблюдений // Метеорология и Гидрология. 2012. № 6. С. 95-107.

Гуревич Е.В. Влияние температуры воздуха на зимний сток рек (на примере бассейна р. Алдан) // Метеорология и гидрология. 2009. №9. С. 92-99.

Ресурсы поверхностных вод СССР: в 20 т. Том 16. Ангара-Енисейский район. Выпуск 1. Енисей. / Отв. ред. А.П. Муранов. Л.: Гидрометеиздат, 1973. 724 с.

Climate Change 2007: The Physical Science Basis / Solomon S., Qin D., Manning M. (eds.). Cambridge New York: Cambridge University Press, 2007. 1008 p.

Anisimov O.A., Zhil'tsova E.L. Climate change estimates for the regions of Russia in the 20th century and in the beginning of the 21st century based on the observational data. *Russian Meteorology and Hydrology*, 2012, t. 37, no. 6, pp. 421-429. (Russ. ed.: Anisimov O.A., Zhil'tsova E.L. Ob otsenkakh izmenenii klimata regionov Rossii v dvadtsatom veke i nachale dvadtsat' pervogo veka po dannym nablyudenii. *Meteorologiya i Gidrologiya*, 2012, no. 6, pp. 95-107). DOI: [10.3103/S1068373912060106](https://doi.org/10.3103/S1068373912060106)

Gurevich E.V. Influence of air temperature on the river runoff in winter (the Aldan river catchment case study). *Russian Meteorology and Hydrology*, 2009, t. 34, no. 9, pp. 628-633. (Russ. ed.: Gurevich E.V. Vliyanie temperatury vozdukh na zimnii stok rek (na primere basseina reki Aldan). *Meteorologiya i gidrologiya*, 2009, no. 9, pp. 92-99). DOI: [10.3103/S1068373909090088](https://doi.org/10.3103/S1068373909090088)

Resursy poverkhnostnykh vod SSSR: v 20 tomakh. Tom 16. Angaro-Eniseiskii raion. Vypusk 1. Enisei. [Surface water resources of the USSR: in 20 volumes. Volume 16. Angara-Yenisei region. Issue 1. Yenisei]. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1973. 724 p. (In Russian)

- Schnorbus M., Werner A., Bennett K.* Impacts of climate change in three hydrologic regimes in British Columbia, Canada // *Hydrological Processes*. 2014. Volume 28, Issue 3. P. 1170-1189. DOI: [10.1002/hyp.9661](https://doi.org/10.1002/hyp.9661).
- Shrestha R.R., Schnorbus M.A., Werner A.T., Berland A.J.* Modelling spatial and temporal variability of hydrologic impacts of climate change in the Fraser River basin, British Columbia, Canada. *Hydrological Processes*, 2012, vol. 26, iss. 12, pp. 1840-1860 DOI: [10.1002/hyp.9283](https://doi.org/10.1002/hyp.9283)
- Solomon S., Qin D., Manning M. (eds.) *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Cambridge New York, Cambridge University Press, 2007. 1008 p.