

УДК 556.535:556.531.4(571.56)

ГИДРОЛОГИЧЕСКОЕ И ГИДРОХИМИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЯ МАЛЫХ РЕК В АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЕ ЯКУТИИ

¹Ноговицын Д.Д., ¹Шейна З.М., ¹Сергеева Л.П., ²Потапова Т.В.

¹ФГБУН «Институт физико-технических проблем Севера им. В.П. Ларионова» Сибирского отделения Российской Академии наук, Якутск, e-mail: dmitry.nogovitzyn@yandex.ru;

²ФГБУ «Якутское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды», Якутск

Для оценки изменения химического состава водных объектов с учетом возможного воздействия производственных процессов были проведены натурные обследования малых рек в арктической зоне Якутии. В полевой сезон 2017 г. были взяты пробы воды и проведены натурные измерения гидрологических характеристик – руч. Красный и р. Лев. Ыт-Юрях. Работы по анализу режима малых рек рассматриваемой территории ранее не проводились. Рассматриваемые водные объекты расположены в среднем течении р. Индигирка. Они относятся к категории малых водотоков сезонного типа, водотоки ежегодно промерзают до дна. По соотношению гидрологических постов на 1 км² площади водосбора данная территория относится к недостаточно изученной: в среднем здесь на один пост приходится 5000 км². Для малых водотоков с периодическим режимом стока район практически является неизученной территорией. При расчете стока по заданным створам использованы региональные карты и коэффициенты по методикам расчета стока для неизученных рек при отсутствии гидрологических наблюдений. Распределение стоковых параметров малых водотоков в горных районах неоднородно в зависимости от площадей водосборов и дополнительно зависит от ряда сопутствующих факторов: высоты местности, экспозиции склонов, уклонов русел и залесенности водосбора. Поэтому для расчетов выполнено осреднение принимаемых параметров. При расчете минимальных расходов воды летне-осенней межени использованы региональные карты-схемы с уточнением расчетных модулей стока по данным наблюдений на малых водотоках территории. На рассматриваемых водотоках изучено их гидрохимическое состояние.

Ключевые слова: водные объекты, малые реки, гидрология, годовой сток, расход воды, гидрохимия

HYDROLOGICAL AND HYDROCHEMICAL CONDITION OF SMALL RIVERS IN THE ARCTIC ZONE OF YAKUTIA

¹Nogovitsyn D.D., ¹Sheina Z.M., ¹Sergeeva L.P., ²Potapova T.V.

¹The V.P. Larionov Institute of Physical and Technical Problems of the North, Siberian Branch of the Russian Academy of Science, Yakutsk, e-mail: dmitry.nogovitzyn@yandex.ru;

²The Yakut Department of Hydrometeorology and Environmental Monitoring, Yakutsk

In order to assess changes in the chemical composition of water objects, taking into account the possible impact of production processes, field research of small rivers in the Arctic zone of Yakutia was carried out. In the field season of 2017 water samples were taken, and hydrological characteristics measurements of the Krasnyi and Lev. Yt-Yuryakh brooks were conducted. Work on the analysis of the regime of small rivers of the considered territory has not been carried out previously. The considered water bodies are located in the middle flow of the Indigirka River. They belong to the category of small seasonal watercourses, the watercourses freeze to the bottom every year. According to the ratio of active hydrological posts per 1 km² of catchment area, this area is not studied sufficiently: on average, there are 5000 km² per post. For small watercourses with intermittent flow regime, the area is virtually unexplored territory. Regional maps and coefficients of the flow calculation methods for unexplored rivers were used in the calculation of flow by stream points in the absence of hydrological observations. The distribution of runoff parameters of small streams in mountainous areas is heterogeneous depending on catchment areas and additionally depends on a number of related factors: elevation, exposure slopes, and watershed salinity. Therefore, the averaging of the accepted parameters is performed for the calculations. Regional schematic charts along with verification of calculated runoff modules according to small watercourses observation data was used in calculation minimum runoff of summer-autumn low water. In the studied watercourses their hydrochemical state was studied.

Keywords: water bodies, small rivers, hydrology, annual runoff, water consumption, hydrochemistry

Для оценки изменения химического состава водных объектов с учетом возможного воздействия производственных процессов были проведены натурные обследования малых рек в арктической зоне Якутии. Рассматриваемые водотоки расположены в бассейне р. Индигирка на территории Оймяконского улуса Республики Саха (Якутия). Основу промышленной специализации улуса составляет добыча

цветных металлов. Минерально-сырьевая база района в составе Верхне-Индигирского горнопромышленного района включает 4 месторождения золотосурьмяных руд и 287 месторождений золота (в том числе 13 рудных, 274 россыпных) [1].

Территория бассейна р. Индигирки принадлежит к Верхоянско-Колымской горноскладчатой области. Река Индигирка образуется слиянием рек Туор-Юрях и Та-

рын-Юрях и впадает в Восточно-Сибирское море. Термический режим водотоков определяется главным образом климатическими условиями. Для бассейна Индигирки температура варьируется в среднем от 6,0 до 14,5 °С. На малых водотоках она опускается ниже 6°. При глубинах менее 2 м водотоки могут промерзнуть до дна [2]. Внутригодовое распределение стока на малых реках крайне неравномерное. Период наличия стока составляет 5 месяцев – с мая по сентябрь. С октября по апрель устанавливается период зимней межени с отсутствием стока. В весенне-летний период сток также нестабильный. Весеннее половодье заканчивается в конце июня и наступает период летне-осенней межени, прерывающейся дождевыми паводками, как правило, более многоводными, чем половодье. Количество паводков зависит от погодных условий. Нередко период летне-осенней межени на малых водотоках устанавливается надолго, продолжительность может достигать более месяца. В засушливые сезоны сток на малых реках и ручьях в этот период прекращается.

По соотношению гидрологических постов на 1 км² площади водосбора данная территория относится к недостаточно изученной: в среднем здесь на один пост приходится 5000 км². Для малых водотоков с периодическим режимом стока, район практически неизученная территория.

Руч. Красный и р. Лев. Ыт-Юрях расположены в среднем течении р. Индигирка. Протекают в гористой местности, средняя густота речной сети для данного района составляет 0,8–0,9 км/км². Относятся к категории малых водотоков сезонного типа. Рассматриваемые водотоки ежегодно промерзают до дна.

Вычисления расхода воды руч. Красный и р. Лев. Ыт-Юрях произведено аналитическим методом по формуле

$$Q = KV_1\gamma_0 + \left(\frac{v_1 + v_2}{2}\right)\gamma_1 + \dots + \left(\frac{v_{n-1} + v_n}{2}\right)\gamma_{n-1} + KV_n\gamma_n, \quad (1)$$

где Q – полный расход воды;
 V_1, V_2, \dots, V_n – средние скорости на скоростных вертикалях 1, 2, ..., n;
 γ_0 – площадь водного сечения между берегом и первой скоростной вертикалью;
 γ_1 – площадь водного сечения между вертикалями № 1 и № 2 и т.д.;
 γ_n – площадь между вертикалью и берегом.

Коэффициент K для скоростей V_1, V_n на скоростных вертикалях № 1 и Nn принят нами для данного случая равным 0,7.

Расчет стока по заданным створам выполнен по методикам для неизученных рек при отсутствии гидрологических наблюдений. При подборе расчетных параметров использованы региональные карты и коэффициенты по методикам, изложенным в [3]. Распределение стоковых параметров малых водотоков в горных районах неоднородно и главным образом зависит от площадей водосборов, а также дополнительно зависит от ряда сопутствующих факторов: высоты местности, экспозиции склонов, уклона русел и залесенности водосбора. Поэтому для расчетов выполнено осреднение принимаемых параметров.

По региональным картам распределения параметров годового стока средний годовой модуль стока рассматриваемого района варьирует в пределах 6–8 л/с*км², коэффициент вариации $C_v = 0,4$. Дополнительно выполнено уточнение расчетных модулей стока по данным наблюдений на малых водотоках территории. Расчет значений среднегодовых расходов для р. Лев. Ыт-Юрях и руч. Красный выполнен по формуле

$$Q\% = F \times M\%, \quad (2)$$

где Q% – средний годовой расход воды заданной обеспеченности, в м³/с;
 F – Площадь водосбора до замыкающего створа, км²;
 M% – модуль стока расчетной обеспеченности.

Расчетные значения средних годовых расходов воды обеспеченностью от 5% до 99% обеспеченности приведены в табл. 1.

Для расчета максимальных расходов воды весеннего половодья (табл. 2) на неизученных реках принята региональная редуцированная эмпирическая формула

$$Q1\% = K_0 * h1\% * F / (F + 1)^{0,17}, \quad (3)$$

где Q1% – мгновенный максимальный расход половодья 1%-ной обеспеченности, в м³/с;
 $h1\%$ – слой суммарного стока за половодье 1% -ной обеспеченности, в мм;
 K_0 – параметр, характеризующий дружность весеннего половодья. Определяется по региональной карте [3] и данным рек-аналогов;
 F – Площадь водосбора до замыкающего створа, км².

Принятые расчетные параметры:
 р. Лев. Ыт-Юрях $K_0 = 0,0055; h1\% = 150$ мм;
 руч. Красный $K_0 = 0,0048; h1\% = 150$ мм.

Таблица 1

Расчетные значения средних годовых расходов воды, м³/с

пост/обеспеченность, %	5	10	25	50	75	95	99
Модуль стока. л/с*км ²	10,0	8,5	6,5	5,0	4,0	3,5	1,5
р. Лев. Ыт-Юрях	0,59	0,50	0,38	0,30	0,24	0,20	0,09
руч. Красный	0,061	0,052	0,040	0,031	0,024	0,021	0,009

Таблица 2

Расчетные значения максимальных расходов воды весеннего половодья, м³/с

пост/обеспеченность, %	1,0	2,0	5,0	10	25
переходные коэфф-ты	1,0	0,89	0,74	0,64	0,46
р. Лев. Ыт-Юрях	24,2	21,5	17,9	15,5	11,1
руч. Красный	3,16	2,91	2,34	2,02	0,15

Расчет максимального срочного расхода воды дождевого паводка для рек с площадью водосборов от 200 до 50000 км² выполнен по редуцированной формуле, предлагаемой в [3] (табл. 3).

$$Q1 \% = V1 \% * F / (F+1)^{0,35}, \quad (4)$$

где Q1 % – мгновенный максимальный расход дождевого паводка 1 %-ной обеспеченности, в м³/с;

V1 % – максимальный модуль притока (сборный параметр), в м³/с*км². Определяется по региональной карте с уточнением обратным пересчетом из формулы по данным рек-аналогов.

Принятые расчетные параметры:

р. Лев. Ыт-Юрях V1 % = 4,5 м³/с*км²;

руч. Красный V1 % = 2,5 м³/с*км².

Так же как и для среднего годового стока, в расчете минимальных расходов воды летне-осенней межени использованы региональные карты-схемы с уточнением расчетных модулей стока по данным наблюдений на малых водотоках территории. Расчет значений минимальных меженных расходов выполнен по формуле (2) (табл. 4).

Определение расчетных отметок вышних уровней воды р. Лев. Ыт-Юрях и руч. Красный выполнено по значениям максимальных расходов дождевых паводков 1 %-ной обеспеченности.

Расчет произведен в Программном комплексе «Profiles-2012», обеспечивающем выполнение расчетов в соответствии с требованиями СП 33-101-2003 [4], пособий и руководств, регламентирующих гидрологическое проектирование. Программой рассчитываются отметки водной поверхности по заданному расходу воды. Исходными данными являются: профиль морфостроения (отметки и расстояние), шероховатость участков морфостроения, уклон реки, расходы

воды. Расчет гидравлических параметров морфостроения осуществляется на основании уравнения Шези:

$$v = C \sqrt{h_{cp} \cdot i}, \quad (5)$$

где C – коэффициент, учитывающий потерю энергии на преодоление сил трения, зависящих от степени шероховатости и поперечных размеров русла, определяется по формуле Маннинга:

$$C = (h_{cp}^{1/6})/n, \quad (6)$$

где h_{cp} – средняя глубина участка, м; i – уклон реки, в долях; n – шероховатость участка, определяемая по таблице М.Ф. Срибного.

Отметка наивысшего расчетного уровня воды, соответствующего заданному максимальному расходу воды 1 %-ной обеспеченности:

р. Лев. Ыт-Юрях = 99,53 м. усл.;

руч. Красный = 99,02 м. усл.

Отбор проб воды на химический анализ производился согласно ГОСТ Р 51592-2000 [5]. Минерализация воды по сухому остатку руч. Красный – 107 мг/дм³ и р. Лев. Ыт-Юрях – 52 мг/дм³ сравнительно небольшая, чем, как отмечается в [3], отличается верхнее течение реки Индигирки. В то же время отмечено повышенное содержание ионов SO₄²⁻: 9,28 мг/дм³ в руч. Красном и 7,39 мг/дм³ в р. Лев. Ыт-Юрях.

По классификации А.М. Никанорова [6] вода р. Лев. Ыт-Юрях (pH = 5,9) относится к слабокислым водам, а вода руч. Красный (pH = 6,7) – к нейтральным. Из биогенных соединений отмечается более высокое содержание аммония: руч. Красный – 1,2 ПДК, р. Лев. Ыт-Юрях – 1,5 ПДК и железа: руч. Красный – 6,4 ПДК и р. Лев. Ыт-Юрях – 2,8 ПДК. Содержание в этом районе железа было отмечено и ранее. Железо выпадает в виде бурого рыхлого осадка.

Концентрация нефтепродуктов в воде руч. Красный и р. Лев. Ыт-Юрях значительно ниже ПДК – 0,05 мг/дм³ и составляет соответственно 0,0092 мг/дм³ и 0,0091 мг/дм³.

Тяжелые металлы в отличие от органических загрязняющих веществ, подвергающимся процессам разложения, способны лишь к перераспределению между отдельными компонентами водных систем. В природной воде они существуют в форме коллоидных взвесей, растворов, дисперсий, которые могут быть представлены самыми разнообразными веществами и соединениями.

Медь, попадающая в воду в результате химического выветривания горных пород и минералов, превышает ПДК в руч. Красный в 3,1 раза, в р. Лев. Ыт-Юрях – в 1,9 раза.

Марганец часто сопровождает железо и вместе с ним выпадает в осадок, он более ядовит, чем железо. Марганец оказывает влияние на численность водных организмов, особенно на развитие фитопланктона. Содержание марганца в воде руч. Красный превышает ПДК в 6,2 раза, р. Лев. Ыт-Юрях – в 6,7 раза. Основными источниками его поступления в поверхностные воды являются железомарганцевые руды и другие минералы.

В результате натурных измерений гидрологических показателей в полевой сезон 2017 г., отбора проб воды и их анализа, а также гидрологических расчетов установлены следующие сведения о водных объектах (табл. 5). В таблице использованы нормативы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения [7].

Таблица 3

Расчетные значения максимальных расходов воды дождевых паводков, м³/с

пост/обеспеченность, %	1,0	2,0	5,0	10	25
переходные коэфф-ты	1,0	0,93	0,83	0,71	0,57
р. Лев. Ыт-Юрях	70,4	65,5	58,4	50,0	40,1
руч. Красный	7,66	7,12	6,36	5,44	4,37

Таблица 4

Расчетные значения минимальных 30-суточных расходов воды, м³/с

пост/обеспеченность, %	50	75	95	97	99
Модуль стока. л/с*км ²	5,0	3,5	1,5	0,5	0,2
р. Лев. Ыт-Юрях	0,295	0,21	0,089	0,030	0,012
руч. Красный	0,031	0,021	0,009	0,003	0,001–0,000

Таблица 5

Гидрологическая и гидрохимическая характеристика руч. Красный и р. Лев. Ыт-Юрях

Гидрологические и гидрохимические показатели	руч. Красный		р. Лев. Ыт-Юрях	
	натурные измерения	Превышение ПДК	натурные измерения	Превышение ПДК
Среднегодовой расход воды	0,031 м ³ /с		0,3 м ³ /с	
Расход воды 95% обеспеч.	0,021 м ³ /с		0,2 м ³ /с	
Уклон реки	37‰		15,2‰	
Средняя скорость	0,075 м/с		0,36 м/с	
Средняя глубина	0,05 м		0,13 м	
Фоновое содержание взвешенных веществ	410 мг/дм ³		264 мг/дм ³	
Фоновое содержание нефтепродуктов	0,0092 мг/дм ³		0,0091 мг/дм ³	
Фоновое содержание железа	0,64 мг/дм ³	6,4	0,282 мг/дм ³	2,8
Фоновое содержание меди	0,00313 мг/дм ³	3,1	0,00194 мг/дм ³	1,9
Фоновое содержание цинка	0,062 мг/дм ³	6,2	0,0058 мг/дм ³	
Суммарная альфа-бета активность	соответствует критериям радиационной безопасности НРБ-99/2009			

Выводы

Ручей Красный – левый приток р. Ыт-Юрях, впадает на 5 км от устья, длина 3,9 км, площадь водосбора в створе гидротехнических работ 6,1 км². Руч. Красный – рыбохозяйственный водоток. Наблюдения на руч. Красном ранее не проводились.

Река Лев. Ыт-Юрях – составная часть реки Ыт-Юрях, её устье в месте слияния с рекой Правый Ыт-Юрях является началом реки Ыт-Юрях. Длина водотока 14 км, площадь водосбора в гидростворе 39 км². Река Лев. Ыт-Юрях – рыбохозяйственный водоток. Гидрологические наблюдения на р. Лев. Ыт-Юрях ранее не проводились.

Список литературы

1. Оймяконский улус (район) / Официальный информационный портал Республики Саха (Якутия) [Электронный ресурс]. – URL: <http://old.sakha.gov.ru/node/15109> (дата обращения: 12.02.2018).
2. Схема комплексного использования и охраны водных объектов бассейна реки Индигирка. Книга 1. Общая характеристика речного бассейна / Утверждена приказом Ленского бассейнового водного управления Росводресурсов от 19 июня 2014 г. № 76-п. Якутск – 2014. – 85 с. [Электронный ресурс]. – URL: <http://lbvu.ru/files/Книга%201Инди.pdf> (дата обращения: 12.02.2018).
3. Ресурсы поверхностных вод СССР, т. 17, Лено-Индигирский район / под ред. М.С. Протасьева. – Л.: Гидрометеоздат, 1972. – 651 с.
4. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. Взамен СНиП2.01.14-83 [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200035578> (дата обращения: 12.02.2018).
5. ГОСТ Р 51592-2000 Вода. Общие требования к отбору проб [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200008006> (дата обращения: 12.02.2018).
6. Никаноров А.М. Гидрохимия. – СПб.: Гидрометеоздат, 2001. – 444 с.
7. Приказ Минсельхоза РФ от 13.01.2016 г. № 552, зарегистрирован в Минюсте РФ 13.01.2017 № 45203 [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/420389120> (дата обращения: 18.04.2018).

References

1. Oimiakonskii ulus (raion) / Ofitsial'nyj informatsionnyj portal Respubliki Saha (Jakutija). [Oymyakonsky ulus (district) / The official information portal of the Republic of Sakha (Yakutia)]. URL: <http://old.sakha.gov.ru/node/15109> (accessed 12 February 2018).
2. Skhema kompleksnogo ispol'zovaniia i okhrany vodnykh obektov basseina reki Indigirka. Kniga 1. Obschaja harakteristika rechnogo bassejna / Utverzhdena prikazom Lenskogo bassejnovogo vodnogo upravlenija Rosvodresursov ot 19 ijunja 2014 g. № 76-p. Yakutsk, 2014. 85 p. [Scheme of integrated use and protection of water bodies in the Indigirka river basin. Book 1. General characteristics of the river basin/ Approved by the order of the Lena basin water management rosvodresursov from»19» June 2014 № 76-p. Yakutsk, 2014. 85 p.]. Available at: <http://lbvu.ru/files/Книга%201Инди.pdf> (accessed 12 February 2018).
3. Resursy poverkhnostnykh vod SSSR, t.17, Leno-Indigirskij rajon / pod red. M.S. Protas'eva [Surface water resources of the USSR, vol. 17, Lena-Indigirka district/ ed. by M.S. Protasov]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1972. 651 p.
4. SP 33-101-2003. Opredelenie osnovnykh raschetnykh gidrologicheskikh kharakteristik. Vzamen SNiP2.01.14-83 [SP 33-101-2003. Determination of basic design hydrological characteristics. Instead Snip2.01.14-83]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200035578> (accessed 12 February 2018).
5. GOST R 51592-2000 Voda. Obshchie trebovaniia k otboru prob [GOST R 51592-2000 Water. General requirements for sampling]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200008006> (accessed 12 February 2018).
6. Nikanorov A.M. Gidrokhimia [hydrochemistry]. St. Petersburg, Gidrometeoizdat, 2001, 444.
7. Prikaz Minsel'hoza RF ot 13.01.2016 g. №552 zaregistrovan v Minyuste RF 13.01.2017 № 45203 [The order of Ministry of Agriculture of the Russian Federation from 13.01.2016 № 552, registered in the Ministry of Justice of the Russian Federation 13.01.2017 № 45203]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420389120> (accessed 18.04.2018).