



УДК 556.048

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА МИНИМАЛЬНЫХ ЛЕТНЕ-ОСЕННИХ РАСХОДОВ
ВОДЫ РЕК ПРИМАГАДАНЬЯ****METHODS FOR CALCULATING THE MINIMUM SUMMER AND AUTUMN
WATER DISCHARGES IN MAGADAN AREA****М.В. Ушаков
M.V. Ushakov**

*Северо-Восточный комплексный научно-исследовательский институт им. Н.А. Шило ДО РАН,
Россия, 685000, г. Магадан, ул. Портовая, 16
North-East Interdisciplinary Scientific Research Institute named after N.A. Shilo, Far East Branch of Russian
Academy of Sciences, 16 Portovaya St, Magadan, 685000, Russia*

E-mail: mvilorich@narod.ru

Аннотация. Цель работы – разработать методику определения минимальных 30-суточных расходов воды различной обеспеченности в летне-осенний период для неизученных рек на территории муниципального образования «город Магадан», включающего в себя помимо самого города близлежащие поселки (Примагаданье). Обнаружена довольно тесная связь минимальных 30-суточных расходов воды рек Примагаданья обеспеченностью 80% с площадью водосбора, однако связь этой характеристики с виртуальным объемом водосборной котловины оказалась теснее. Переходные коэффициенты от минимальных 30-суточных расходов воды обеспеченностью 80% к расходам других обеспеченностей тоже связаны с виртуальным объемом водосборной котловины. Получены расчетные формулы. Средняя относительная ошибка определения минимальных 30-суточных расходов воды обеспеченностью 95% в летне-осенний период составляет 1.6%. Предложена формула для вычисления площади водосбора по длине реки.

Résumé. Research on the regional formulas to determine the calculated hydrological characteristics are still relevant. In the aim was to develop a method for determining the minimum 30-day water discharge of different probability of exceedance in summer and autumn for unexplored rivers on the territory of the municipality “Magadan”, which includes the nearby villages in addition to the town itself (Primagadane). All the rivers in the study area belongs to the basin of the northern part of the Okhotsk Sea and are located in the zone of the island and the discontinuous permafrost. In the basin of the Magadanka River are two reservoirs of drinking water and one for the technical service of the Magadan Thermoelectric Plant. In the data of long-term observations of the river flow was used in nine hydrological stations. We found quite a close relationship the minimum 30-day river water flow Primagadanye 80% probability of exceedance with the catchment area, but the relationship of this characteristic with a virtual volume of the catchment depression was crowded. This figure better characterizes the capacity of the groundwater basin, because it contains a third spatial coordinate (applicate), which is particularly relevant for mountain rivers. Transition rates from the minimum 30-day security of water discharge 80% probability of exceedance to the discharge other probability of exceedance are also correlated with the virtual volume of the catchment depression. A result of research obtained formulas. The verification showed that the proposed method, the average relative error in determining the minimum 30-day security of water discharge probability of exceedance 95% in the summer-autumn period is 1.6%. The formula for calculating catchment areas through the use of river length was proposed.

Ключевые слова: речной сток, расход воды, площадь водосбора, водосборная котловина, аппроксимация.

Key words: river flow, water discharge, catchment of river, catchment depression, approximation.

Введение

Вопросы вывода районных формул для определения расчетных гидрологических характеристик на неизученных реках имеют важное научно-прикладное значение. Этими вопросами применительно к рекам Северо-Востока России занималось ряд исследователей [Левин, 1946, 1957; Гарцман, Рябчикова, 1972; Куприянов, 1969; Ljbanov, Ushjalov, 2008; Ушаков, 2016].



Так, например, в Колымское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды обращалось МУП «Водоканал» г. Магадана с заявкой на предоставление расчетных гидрологических характеристик по пяти створам на реках Дукча, Уптар, Михалыч, протекающих по территории муниципального образования «город Магадан», включающего в себя помимо самого города близлежащие поселки (далее – Примагаданье).

В данной работе ставится цель разработать методику определения минимальных 30-тисуточных расходов воды различной обеспеченности в летнее–осенний период для неизученных рек Примагаданья. В связи с этим встает задача по получению районных формул для расчета вышеуказанных гидрологических характеристик.

Все реки исследуемого района принадлежат бассейну северной части Охотского моря и расположены в зоне островного и прерывистого распространения многолетней мерзлоты [Ершов, 1989]. В бассейне р. Магаданки функционируют два водохранилища с питьевой водой и одно техническое для обслуживания Магаданской ТЭЦ.

Внутригодовое распределение стока рек отличается значительной неравномерностью. В теплую часть года (май–октябрь) протекает основная масса воды (94–98%).

Резко расчлененный рельеф местности рассматриваемой территории, значительные уклоны тальвегов и склонов долин, а также наличие многолетней мерзлоты способствуют формированию больших максимальных расходов воды. На реках ежегодно формируется высокое снеговое или снегодождевое половодье. Объем весеннего половодья и максимального расхода воды определяются главным образом количеством снега к началу половодья и интенсивностью снеготаяния. Волна половодья нередко сливается с последующими дождевыми паводками. Дождевые паводки проходят в период июнь–сентябрь, иногда и в первой половине октября.

Наименьшие расходы воды в реках за период открытого русла могут наблюдаться в любой летний месяц, преимущественно во второй половине лета и перед появлением на реке осенних ледовых явлений. Продолжительность летних меженных периодов, как правило, невелика.

Материал и методы исследования

Для решения поставленных задач были использованы данные многолетних наблюдений за стоком рек Примагаданья (табл. 1) и сведения о гидрографических и морфометрических характеристиках рек и их водосборов. Исходные ряды расходов воды, для которых удалось подобрать пункт-аналог, были приведены к многолетнему периоду. Внутрирядная однородность рядов анализировалась с помощью критериев Стьюдента и Фишера. Все ряды по среднему и дисперсии однородны.

Оценка статистических параметров производилось в соответствии с рекомендациями, изложенными в СП 33-101-2003 [2004]. Кривые обеспеченности расходов воды строились с использованием трехпараметрических кривых Крицкого–Менкеля [Пособие ..., 1984].

Предложен показатель – «виртуальный объем водосборной котловины»:

$$W = 0,001(H - h)F, \quad (1)$$

где H – средняя высота водосбора над уровнем моря, м; h – отметка меженного уровня реки или отметка нуля гидрологического поста в замыкающем створе над уровнем моря, м; F – площадь водосбора, км².

Графические построения и вычисление параметров уравнений регрессии производилось при помощи табличного редактора Microsoft Excel.



Таблица 1
Table 1

Сведения о гидрологических постах Примагаданья
Information about the hydrological stations of Primagadane

№	Название поста	Площадь водосбора, км ²	Виртуальный объем водосборной котловины, км ³	Период действия	
				открыт	закрыт
1	р. Уптар – п. Уптар	265	65.0	06.03.1940 (09.10.1974)	действует
2	р. Дукча – п. Снежная Долина	119	42.5	01.01.1979	действует
3	р. Дукча – устье	330	101	15.09.1960	действует
4	р. Магаданка – г. Магадан	48.5	16.9	29.12.1971	действует
5	р. Магаданка – устье р. Каменушки	74.7	30.2	01.10.1957	31.12.1971
6	р. Магаданка – мост Колымского шоссе	155	52.9	25.05.1937	30.09.1957
7	р. Каменушка – в 8 км от устья	40.3	8.98	01.04.1977	действует
8	р. Каменушка – в 3.3 км выше плотины	58.8	16	06.06.1958	31.03.1977
9*	р. Хасын – п. Хасын	682	271.0	01.05.1941	действует

Примечание: * – пункт-аналог расположен на юге Хасынского района в 80 км от г. Магадана.

Результаты и их обсуждение

По рядам минимальных 30-суточных расходов воды были рассчитаны основные статистические параметры (табл. 2). Нормы модуля минимального 30-суточного стока рек Примагаданья меняются в широких пределах 11,3-20,8 л/(с·км²).

Обнаружена довольно тесная связь минимальных 30-суточных расходов воды рек Примагаданья обеспеченностью 80 % с площадью водосбора (рис. 1), коэффициент детерминации $R^2=0.978$. Аналитическое выражение этой связи имеет вид:

$$Q_{80\%} = (12.118F - 0.01207F^2) / 1000, \tag{2}$$

где F – площадь водосбора, км².

Однако связь этой характеристики с виртуальным объемом водосборной котловины теснее (рис. 2):

$$Q_{80\%} = 0.0555W^{0.856}, \quad R^2=0.999. \tag{3}$$

Этот показатель лучше характеризует емкость бассейна грунтовых вод, так как содержит в себе третью пространственную координату (аппликату), что особенно актуально для горных рек.



Таблица 2

Table 2

Статистические характеристики рядов минимальных 30-суточных расходов воды в летне-осенний период в Примагаданье
Statistical characteristics of the series of minimum 30-day water discharges in summer and autumn in Primagadane

Название поста	Длина ряда исходная/после приведения	Номер пункта-аналога по таблице 1	\bar{Q} м ³ /с	C_v	C_s/C_v	$Q_{80\%}$, м ³ /с
р. Уптар – п. Уптар	33/66	9	3.00	0.39	3.5	2.03
р. Дукча – п. Снежная Долина	27/66	3	2.05	0.42	4	1.36
р. Дукча – устье	45/66	1	4.68	0.48	3	2.87
р. Магаданка – г. Магадан	33/67	5	1.01	0.43	1	0.63
р. Магаданка – устье р. Каменушки	14/67	6	1.38	0.32	2	1.00
р. Магаданка – мост Колымского шоссе	19/67	3	2.30	0.33	2.5	1.66
р. Каменушка – в 8 км от устья	29/67	4	0.64	0.48	1	0.36
р. Каменушка – в 3.3 км выше плотины	19/67	7	0.91	0.38	1	0.61

Примечания: \bar{Q} – среднее; C_v – коэффициент вариации; C_s/C_v – отношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации; $Q_{80\%}$ – ордината вероятностью превышения 80%.

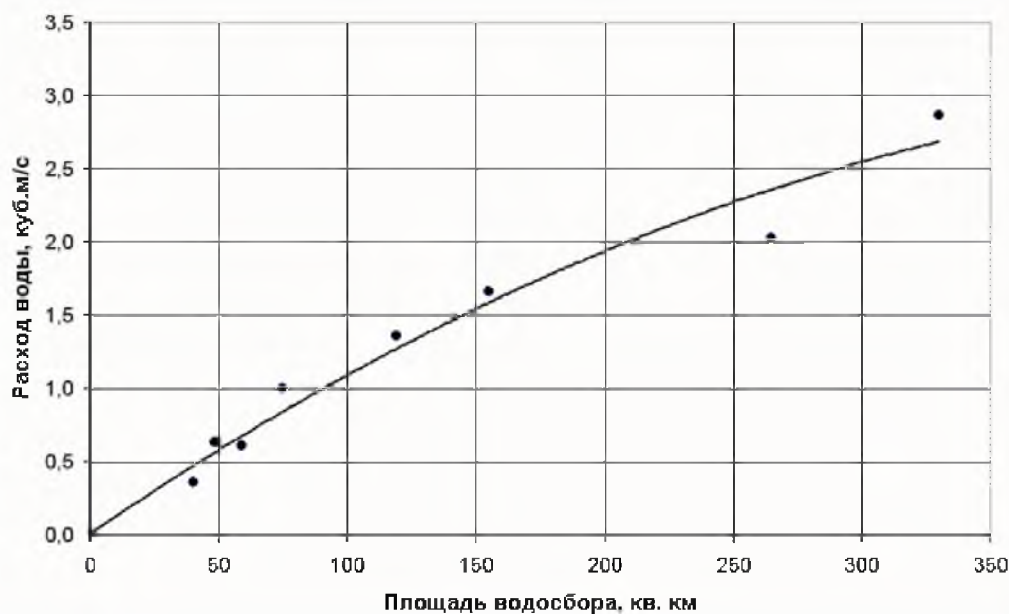


Рис. 1. Связь минимальных 30-тисуточных расходов воды рек Примагаданья обеспеченностью 80% в летне-осенний период ($Q_{80\%}$) с площадью водосбора (F)

Fig. 1. Relationship minimum 30-day water discharges of rivers Magadan area probability of exceeding 80% in the summer-autumn period ($Q_{80\%}$) with a catchment area (F)

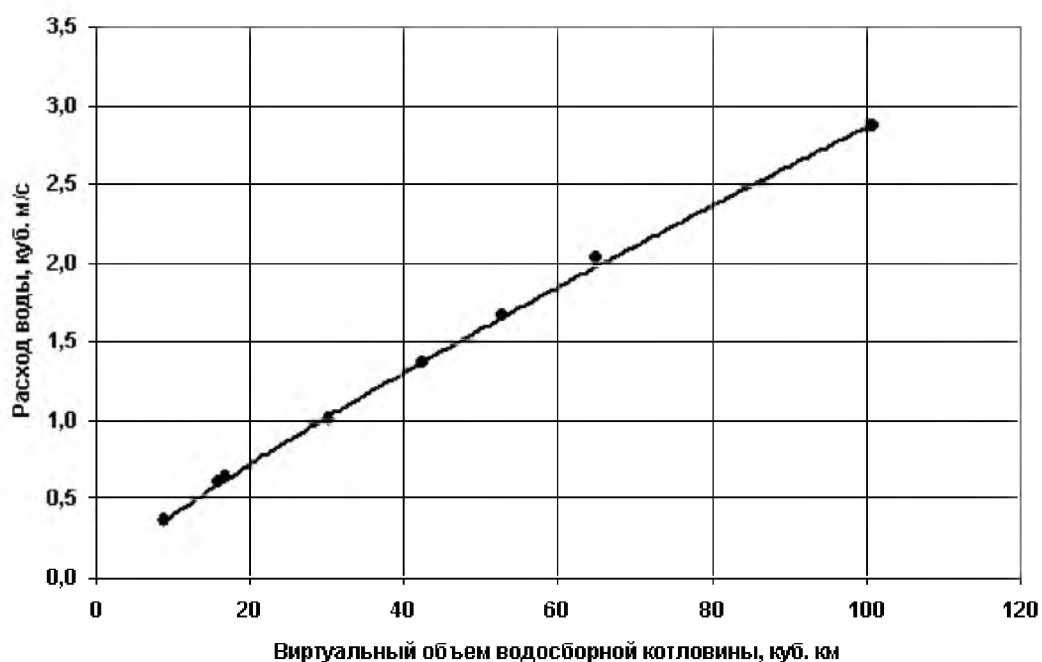


Рис. 2. Связь минимальных 30-тисуточных расходов воды рек Примагаданья обеспеченностью 80% в летне-осенний период ($Q_{80\%}$) с виртуальным объемом водосборной котловины (W)
 Fig. 2. Relationship minimum 30-day water discharges of rivers Magadan area security probability of exceeding 80% in the summer-autumn period ($Q_{80\%}$) with the virtual volume of the catchment basin (W)

Попытки связать минимальный сток со средней высотой и уклонами реки, речного водосбора не улучшили качество расчетов.

В табл. 3 приведены переходные коэффициенты от расхода воды обеспеченностью 80 % к расходам других обеспеченностей. Переходные коэффициенты тоже связаны с виртуальным объемом водосборной котловины (рис. 3)

Таблица 3
Table 3

Переходные коэффициенты для определения минимальных 30-суточных расходов воды в летнее–осенний период различной обеспеченности в Примагаданье

Transition coefficients for the minimum 30-day water discharges during the summer–autumn period different probability of exceeding in Primagadane

Название поста	Вероятность превышения P , %				
	75	80	90	95	97
р. Уптар – п. Уптар	1.06	1	0.86	0.75	0.69
р. Дукча – п. Снежная Долина	1.07	1	0.85	0.76	0.70
р. Дукча – устье	1.08	1	0.82	0.69	0.61
р. Магаданка – г. Магадан	1.10	1	0.75	0.57	0.48
р. Магаданка – устье р. Каменушки	1.06	1	0.85	0.74	0.67
р. Магаданка – мост Колымского шоссе	1.06	1	0.86	0.76	0.70
р. Каменушка – в 8 км от устья	1.12	1	0.71	0.51	0.41
р. Каменушка – в 3.3 км выше плотины	1.08	1	0.79	0.64	0.55

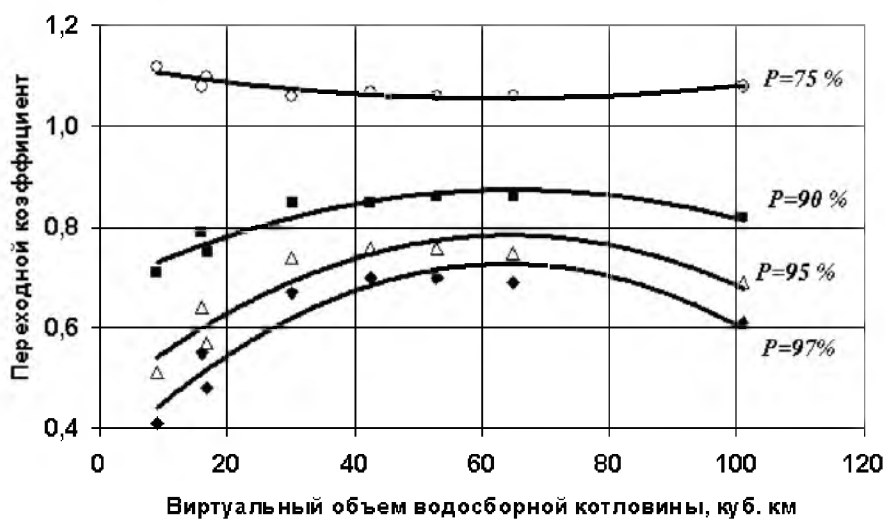


Рис. 3. Семейство кривых связи переходных коэффициентов (K_p) от минимальных 30-тисуточных расходов воды обеспеченностью 80% к расходам других обеспеченностей (P) с виртуальным объемом водосборной котловиной (W)

Fig. 3. Set of curves relationship of transition coefficients (K_p) from the minimum 30-day water discharges 80% to the discharges of other probabilities of exceedance (P) with a virtual volume of the catchment basin (W)

$$K_{75\%} = 1.127 + 1.801 \cdot 10^{-5} W^2 - 2.259 \cdot 10^{-3} W, \quad R^2=0.78, \quad (4)$$

$$K_{90\%} = 0.680 - 4.632 \cdot 10^{-5} W^2 + 6.008 \cdot 10^{-3} W, \quad R^2=0.88, \quad (5)$$

$$K_{95\%} = 0.455 - 7.948 \cdot 10^{-5} W^2 + 1.024 \cdot 10^{-2} W, \quad R^2=0.88, \quad (6)$$

$$K_{97\%} = 0.339 - 9.477 \cdot 10^{-5} W^2 + 1.213 \cdot 10^{-2} W, \quad R^2=0.90, \quad (7)$$

Таблица 4

Table 4

Проверочные расчеты минимальных 30-тисуточных расходов воды обеспеченностью 95% в летнее–осенний период в Примагаданье
Testing calculation of the minimum 30-day of water discharges in summer and autumn probability of exceeding 95% in Primagadane

Название поста	$Q_{95\%}$		Ошибка	
	по натурным данным	по методике	абсолютная	относительная, %
р. Уптар – п. Уптар	1.54	1.483	-0.057	-3.7
р. Дукча – п. Снежная Долина	1.03	1.045	0.015	1.4
р. Дукча – устье	1.95	1.990	0.040	2.0
р. Магаданка – г. Магадан	0.36	0.356	-0.004	-1.2
р. Магаданка – устье р. Каменушки	0.75	0.759	0.009	1.2
р. Магаданка – мост Колымского шоссе	1.25	1.260	0.010	0.8
р. Каменушка – в 8 км от устья	0.19	0.185	-0.005	-2.5
р. Каменушка – в 3,3 км выше плотины	0.38	0.381	0.001	0.3
Среднее по модулю	-	-	-	1.6

Таким образом, получена методика определения минимальных 30-суточных расходов воды в летне-осенний период для любой неизученной реки Примагданья.

Верификация предложенной методики показала что, средняя относительная ошибка определения минимальных 30-суточных расходов воды обеспеченностью 95% в летне-осенний период составляет 1.6% (табл. 4).

На рисунке 4 показан график связи длин рек Примагданья с площадями водосборов ($R^2=0.99$):

$$F = 0.3015L^2 - 0.458L + 0.95, \tag{8}$$

где L – длина реки от истока до расчетного створа, км.

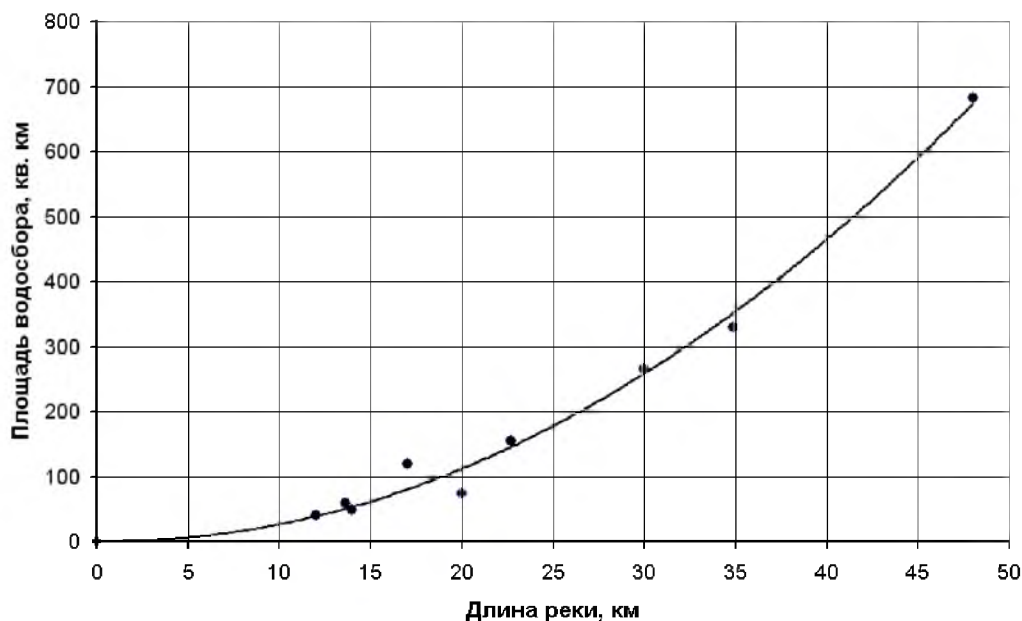


Рис. 4. Связь длин рек Примагданья с площадями водосбора
 Fig. 4. Relationship of lengths of rivers Magadan area with a catchment space

На этом графике видно, что для рек длиной более 23 км площадь водосбора можно определять, не прибегая к планиметрированию топографических карт, достаточно по карте измерить длину водотока.

Заключение

В результате проведенного исследования на основе использования виртуального объема водосборной котловины была получена удовлетворительная методика определения минимальных 30-тисуточных расходов воды в летне-осенний период для неизученных рек Примагданья. Попытки связать минимальный сток со средней высотой и уклонами реки, речного водосбора не улучшили качество расчетов.

Для рек длиной более 23 км площадь водосбора можно вычислять по ее длине.

Список литературы References

1. Гарцман И.Н., Рябчикова Т.К. 1972. Труды ДВНИГМИ. Вып. 39. О распределении средних многолетних годовых осадков и стока по территории Верхней Колымы и северного побережья Охотского моря. Л., Гидрометеиздат, 240.

Garcman I.N., Ryabchikova T.K. 1972. Trudy DVNIGMI. Vyp. 39. O raspredelenii srednih mnogoletnih godovyh osadkov i stoka po territorii Verhnej Kolymy i severnogo poberezh'ja Ohotskogo morja [Proceedings of the FERHRI. Vol. 39. On the distribution of long-term average annual precipitation and runoff in the territory of the Upper Kolyma and the northern coast of the Sea of Okhotsk]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 240. (in Russian)



2. Ершов Э.Д. (ред.). 1989. Геокриология СССР. Восточная Сибирь и Дальний Восток. М., Недра, 515.
Ershov Ye.D. (red.). 1989. Geokriologija SSSR. Vostochnaja Sibir' i Dal'nij Vostok [Geocryology of the USSR. Eastern Siberia and the Far East]. Moscow, Nedra, 515. (in Russian)
3. Куприянов В. (ред.). 1969. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 19. Северо-Восток. Л.: Гидрометеиздат, 284.
Kuprijanov V. (red.). 1969. Resursy poverhnostnyh vod SSSR. T. 19. Severo-Vostok [Surface water resources of the USSR. Vol. 19. Northeast]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 282. (in Russian)
4. Левин А.Г. 1946. Максимальный сток дождевых паводков бассейна р. Колымы. Магадан, ФГУ МТФГИ, 65.
Levin A.G. 1946. Maksimal'nyj stok dozhdevyh pavodkov bassejna r. Kolymy [Maximum drain rain floods of the Kolyma River Basin]. Magadan, FGU MTFGI, 65. (in Russian)
5. Левин А.Г. 1957. Некоторые особенности условий формирования стока на Крайнем Северо-Востоке СССР. В кн.: Тезисы докладов III Всесоюзного гидрологического съезда. Секция расчетов и прогнозов стока. Л., Гидрометеиздат: 32–55.
Levin A.G. 1957. Some features of the conditions of runoff formation in the far North-East of the USSR. In: Tezisy докладov III Vsesojuznogo gidrologicheskogo s#ezda. Sekcija raschetov i prognozov stoka [Abstracts of the III All-Union Hydrological Congress. Section calculations and flow forecasts]. Leningrad, Gidrometeoizdat: 32–55. (in Russian)
6. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. 1984. Л., Гидрометеиздат, 448.
Manual determination of the calculated hydrological characteristics. 1984. Leningrad, Gidrometeoizdat, 448. (in Russian)
7. СП 33-101-2003. 2004. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. М., Госстрой России, 74.
SP 33-101-2003. 2004. Determination of basic calculation of hydrological characteristics. Moscow, Gosstroj Rossii, 74. (in Russian)
8. Ушаков М.В. 2016. Определение расчетных гидрологических характеристик в районе золото-серебряного месторождения «Двойное». *Горный информационно-аналитический бюллетень*, (10): 312–323.
Ushakov M.V. 2016. Determining calculated hydrological characteristics in the area of gold-silver deposit “Dvojnoe”. *Mining Informational and Analytical Bulletin*, (10): 312–323. (in Russian)
9. Lobanov S.A., Ushakov M.V. 2008. The river water resources of the Magadan region and their long-term variability. *Geography and natural resources*, 29 (3): 247–250.