

Оригинальная статья

УДК 502/504:551.435.1:556.5;69.059

DOI: 10.26897/1997-6011-2022-2-94-98

О ДИСТАНЦИОННОМ ОПРЕДЕЛЕНИИ ОСНОВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЗАВАЛЬНЫХ ВОДОЕМОВ

АНАХАЕВ КАЙСЫН КОШКИНБАЕВИЧ, аспирант

k.anahaev.k@mail.ru

Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет (КБГАУ); 360030, Кабардино-Балкарская Республика, г. Нальчик, пр-кт Ленина, д. 1В, Россия

В руслах горных и предгорных водотоков в результате оползаний (обвалов) береговых склонов нередко образуются завальные грунтовые плотины, перекрывающие русло водотока. С верховой стороны от них аккумулируются водные массы, перелив которых через плотину может привести к разрушению последней и возникновению катастрофического прорывного селевого потока, угрожающего безопасности жизнедеятельности нижерасположенных территорий. В этих условиях важное значение имеет оперативная оценка масштабов риска с учетом сложившихся гидрогеоморфологических характеристик руслового водоема. Получены расчетные зависимости для аналитического нахождения необходимых характеристик (полного, частично заполненного) завального водоема, а также значений резервных объема и времени наполнения водоема, основанные на дистанционно определенных параметрах отдельных точек, расположенных на завальной плотине и прилегающем русле водотока.

Ключевые слова: горные водотоки, перекрытие русел, завальные плотины, разрушение грунтовых плотин, прорывной поток, дистанционное определение параметров

Формат цитирования: Анахаев К.К. О дистанционном определении основных характеристик завальных водоемов // Природообустройство. – 2022. – № 2. – С. 94-98. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-2-94-98.

© Анахаев К.К., 2022

Original article

ON REMOTE DETERMINATION OF THE MAIN CHARACTERISTICS OF LITTERED RESERVOIRS

ANAKHAEV KAISYN KOSHKINBAEVICH, post graduate student

k.anahaev.k@mail.ru

Kabardino-Balkar State Agrarian University (KBGAU), Nalchik, avenue. Lenin, 1B, Russia

In the channels of mountain and foothill streams, as a result of landslides (collapses) of coastal slopes, litter soil dams are often formed, blocking the watercourse channel. On the upper side of them, water masses accumulate, the overflow of which through the dam can lead to the destruction of the latter and the emergence of a catastrophic breakthrough mudflow that threatens the safety of life of the lower territories. In these conditions, it is important to quickly assess the extent of the risk, taking into account the existing hydrogeomorphological characteristics of the channel reservoir. The paper obtains calculated dependencies for the analytical finding of the necessary characteristics of the (full, partially filled) flood reservoir, as well as the values of the reserve volume and time of filling the reservoir, based on remotely determined parameters of individual points located on the dam and the adjacent channel of the watercourse.

Keywords: mountain watercourses, blocking of channels, litter dams, destruction of soil dams, breakthrough flow, remote determination of parameters

Format of citation: Anakhaev K.K. On remote determination of the main characteristics of littered reservoirs // Prirodoobustrojstvo. – 2022. – № 2. – S. 94-98. DOI: 10.26897/1997-6011-2022-2-94-98.

Введение. На горных и предгорных водотоках нередко случаи внезапного перекрытия русел грунтовыми массами в результате крупномасштабных оползаний (обвалов) береговых массивов с образованием завальных плотин [1-4]. Указанные процессы происходят, как правило, в результате переувлажнения неустойчивых глинистых и супесчаных грунтов

на береговых склонах при обильных дождевых осадках, интенсивном таянии снежного покрова, подмыве русла водотока и оснований склонов паводковыми водами, сейсмических воздействиях, а также при ударных, вибрирующих колебаниях при сходе селевых потоков [5, 6].

Запруды могут образовываться как в результате внезапного обвала береговых склонов, так и при постепенном сползании берегового массива, как, например, на оползне «Бузулган», сползающего в узкую теснину (~5 м) на р. Герхожан – правом притоке р. Баксан [1, 4, 5, 7].

К числу крупнейших в мире завалов относится Усойский (по названию погребенного кишлака) завал 1911 г. на р. Бартаг (Мургаб) объемом ~2.2 км³, высотой более 500 м, шириной более 3000 м (Таджикистан). Здесь в результате аккумуляции водных масс реки образовалось Сарезкое (по названию затопленного кишлака) озеро площадью ~88 км² и объемом ~16.8 км³ [8-10].

Следует указать, что и в настоящее время ведутся дискуссии по возможности прорыва Сарезского озера, что чревато катастрофическими последствиями [9, 10].

Накопление водных масс с верховой стороны от завальных плотин создает угрозу возникновения прорывного паводка для нижерасположенных территорий при возможном их разрушении.

Материалы и методы исследований.

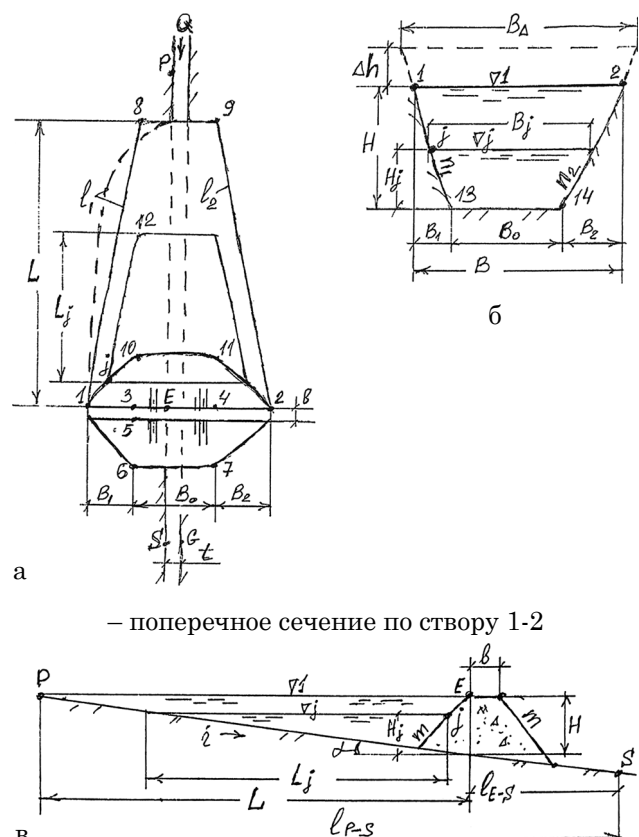
Прорывы завальных плотин происходят (причем вне зависимости от атмосферных осадков [2]) как при переполнении верхнего бьефа и переливе воды через гребень завала, так и в результате потери телом плотины устойчивости, что вызывает прорывные селевые и наносоводные потоки большой разрушительной силы [3, 9, 12, 13].

Особую опасность представляет возникновение нескольких завальных плотин в русле одного водотока, поскольку при этом может случиться каскадное разрушение плотин с гораздо большей прорывной волной. В этих условиях остро встает проблема обеспечения безопасности на нижерасположенных селитебных территориях и объектах экономики. При этом возникают такие важные (первоочередные) задачи, необходимые для организации предупредительных и спасательных мер, как оперативная оценка высоты и объема завальной плотины, возможных максимальных объемов накопления водных масс, резервного времени для полного заполнения водоема и др. [3, 5, 13]. Исходными материалами для проведения таких оценок могут служить дистанционно определенные параметры для отдельных точек на завальной плотине и русле водотока (с помощью космоснимков, GPS и др.). В частности, излагается методика использования спутниковой информации

и цифровых моделей местности для дистанционного определения гидрогеоморфологических характеристик применительно к высокогорным озерам, в том числе с использованием понятия «средняя глубина озера» [16-18].

Результаты и их обсуждение. В работе приведены расчетные зависимости, основанные на дистанционно определенных параметрах (GPS-отметках, расстояниях) отдельных точек, предназначенные для нахождения необходимых гидрогеоморфологических характеристик русловых водотоков в условиях перекрытия их завальными плотинами.

На рисунке представлена расчетная схема водоема, образованного в русле водотока завальной плотиной.



а – поперечное сечение по створу 1-2

Рис. Расчетная схема завальной плотины в русле горного водотока:

- а) плановое положение;
- б) поперечное сечение по створу 1-2;
- в) продольное сечение вдоль тальвега русла; точки № 1-9, P, S, G, E, j – дистанционно определенными параметрами (отметками, расстояниями между точками)

Fig. Design scheme of the littered dam in the channel of the mountain watercourse:

- (a) planned position;
- б) cross-section along the alignment 1-2;
- в) longitudinal cross-section along the thalweg of the channel; points №№ 1-9, P, S, G, E, j – with remotely defined parameters (marks, distances between points)

В представленной схеме приняты следующие основные граничные условия:

$\nabla 1$ – наименьшая отметка разновысотного гребня завальной плотины (эта же отметка является расчетным максимальным уровнем для руслового водоема); $\nabla 2$ – принимается на уровне $\nabla 1$, то есть $\nabla 2 = \nabla 1$; t , B_0 и i – ширина русла водотока, ширина поймы и уклон тальвега водотока (указанные величины принимаются постоянными по длине завального руслового водоема); B , H и L – ширина по гребню плотины, глубина и длина водотока при максимальном наполнении водоема до отметки $\nabla 1$.

Объем руслового водоема V_0 (от створа плотины 1-2 с учетом верховой призмы плотины) определяется по формуле объема клина с трапециевидальным основанием 1-2-14-13 (рис. б), верховой гранью 8-9 и высотой, равной длине водоема L :

$$V_0 = \frac{1}{6} LH(B + 2B_0), \quad (1)$$

в которой L – длина руслового водоема L находится по формуле $L = \frac{H}{i}$, где уклон русла равен $i = \operatorname{tg}(\alpha)$, α – угол наклона тальвега.

Для русел водотоков без пойменных участков (при $B_0 = t$) в формулу (1) вместо B_0 следует подставлять значение t , а для прямоугольных русел с вертикальными берегами (при $B_0 = B$) указанная формула принимает вид:

$$V_0 = \frac{1}{2} LHB, \quad (2)$$

что согласуется со значением объема клина с прямоугольным основанием [19].

Объем завального тела плотины V_S может быть определен как объем усеченного клина с прямоугольным основанием 6-10-11-7:

$$V_S = \frac{1}{6} [(H + \Delta h)(b + 2mH)(2B_0 + B_\Delta) - b \cdot \Delta h(2B + B_\Delta)], \quad (3)$$

где B_Δ – верхняя (отсекаемая) грань рассматриваемого клина

$$B_\Delta = B + \Delta h(n_1 + n_2); \quad (4)$$

Δh – отсекаемая высота клина

$$\Delta h = \frac{b}{2m}, \quad (5)$$

в которых m – коэффициент заложения откосов завальной плотины (определяется ниже); n_1 и n_2 – коэффициенты заложения правого и левого береговых склонов, равные

$$n_1 = \frac{B_1}{H}; \quad n_2 = \frac{B_2}{H}; \quad (6)$$

B_1 и B_2 – ширина правой и левой пойм русла водотока.

При этом объем верховой призмы V_u плотины, включенный в общий объем руслового водоема, составит:

$$V_u = \frac{1}{6} mH^2 (2B_0 + B). \quad (7)$$

Для определения объема завальной плотины в створах с отсутствием пойменных участков, а также для прямоугольных створов с вертикальными берегами в формулах (3)-(7) нужно принимать, соответственно, $B_0 = t$ и $n_1 = n_2 = 0$. ($B = B_0$).

В вышеприведенных зависимостях значения основных исходных величин (H , B , B_0 , i и др.) находятся согласно дистанционно определенным параметрам (отметки, расстояния) для отдельно выбранных точек № 1-9, P , S , G , E , j по следующим формулам:

$$i = \frac{\nabla P - \nabla S}{l_{P-S}},$$

где ∇P и ∇S – отметки точек P и S ; l_{P-S} – горизонтальное расстояние между точками P и S (в дальнейшем указанные пояснения не приводятся);

$$\left. \begin{aligned} H &= \nabla 1 - \nabla 13 = \nabla 1 - \nabla S - i \cdot l_{E-S}; \quad B = l_{1-2}; \quad B_0 = l_{6-7}; \\ B_1 &= l_{1-3}; \quad B_2 = l_{2-4}; \quad b = l_{3-5}; \quad t = l_{S-G}; \quad m = \frac{l_{5-6}}{H}. \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

Следует иметь в виду, что на рисунке а) и б) точки 3, 5, 6, 8, 10, 12, 13 и 4, 7, 9, 11, 14 расположены на вертикальных плоскостях, проходящих через подошвы, соответственно, правобережного и левобережного склонов, а точки P , E , S – по тальвегу.

В случае частичного наполнения руслового водоема до некоторой отметки ∇j формула (1) для определения текущего объема водоема принимает вид:

$$V_j = \frac{1}{6} L_j H_j (B_j + 2B_0), \quad (9)$$

где значения B_j , L_j , H_j будут равны соответственно

$$\left. \begin{aligned} H_j &= \nabla j - \nabla S - i[l_{E-S} + m(\nabla 1 - \nabla j)]; \\ B_j &= B_0 + H_j(n_1 + n_2); \quad L_j = \frac{1}{i} H_j. \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

При этом резервный объем V_R завального водоема составит:

$$V_R = V_0 - V_j = \frac{1}{6} [LH(B + 2B_0) - L_j H_j (B_j + 2B_0)]. \quad (11)$$

В случае водопритока Q в русловой водоем полное время его заполнения составит:

$$T_0 = \frac{V_0}{Q}. \quad (12)$$

При частичном заполнении водоема (до отметки ∇_j) резервное время T_R до переполнения водоема составит:

$$T_R = \frac{V_R}{Q}. \quad (13)$$

Площади поверхности водоема при прямолинейных берегах и полном (H) и частичном (B_j) его заполнении будут равны соответственно

$$F_0 = \frac{1}{2}(B + B_0)L; \quad F_j = \frac{1}{2}(B_j + B_0)L_j, \quad (14)$$

а длина береговых линий –

$$\left. \begin{aligned} \text{для правого берега } l_1 = \sqrt{B_1^2 + L^2}; \quad l_{1j} = \sqrt{(n_1 H_j)^2 + L_j^2}; \\ \text{для левого берега } l_2 = \sqrt{B_2^2 + L^2}; \quad l_{2j} = \sqrt{(n_2 H_j)^2 + L_j^2}. \end{aligned} \right\} \quad (15)$$

В случае полуэллиптического очертания берегов площадь поверхности водоема составит [19]:

– при полном заполнении водоема – с полуосями эллипса L и $(B_1 + 0.5B_0)$; $(B_2 + 0.5B_0)$

$$F_0 = \pi L(B_1 + 0.5B_0) + \pi L(B_2 + 0.5B_0) = \pi LB; \quad (16)$$

– при частичном заполнении водоема – по оси эллипса L_j и $(n_1 H_j + 0.5B_0)$; $(n_2 H_j + 0.5B_0)$

$$F_j = \pi L_j [B_0 + H_j (n_1 + n_2)]. \quad (17)$$

При этом длина правой береговой линии будет равна, соответственно, для полного (l_1) и частичного (l_{1j}) наполнения водоема [20]:

$$l_1 = L \cdot \ln \sqrt{e^\pi - (e^\pi - e^2) \left[1 - \left(\frac{B_1 + 0.5B_0}{L} \right)^2 \right]}; \quad (18)$$

Библиографический список

1. Золотарёв Е.А., Кирпичников С.Я., Сейнова И.Б. Результаты наблюдений за оползневыми очагами в нижнем течении селеопасных рек с применением фотограмметрического метода // Сели в горных районах СССР. – М.: МГУ, 1979. – С. 84-87.
2. Шеко А.И. Закономерности формирования и прогноз селя. – М.: Недра, 1980. – 296 с.
3. Виноградов Ю.Б. Перспективы прогнозирования селевых потоков // Тезисы Всероссийской конференции по селям, 8-11 октября 2002 г. – Нальчик: ВГИ, 2002. – С. 54-57.
4. Мукайлов С.М., Рубцов Е.А. Оползни и оползневое зонирование Северного Кавказа // Труды Всероссийской конференции по селям, 26-28 октября 2005 г., ВГИ. – М.: ВГИ, 2008. – С. 377-398.
5. Запорожченко Э.В. Сели бассейна реки Герхожан-Су: история проявления, условия формирования, энергетические характеристики // Сборник научных трудов СКГВХ. Вып. 15. – Пятигорск: СКГВХ, 2002. – С. 80-148.
6. Голубев Г.Н. Гидрология ледников. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 248 с.

$$l_{1j} = L_j \cdot \ln \sqrt{e^\pi - (e^\pi - e^2) \left[1 - \left(\frac{n_1 H_j + 0.5B_0}{L_j} \right)^2 \right]}. \quad (19)$$

Для левого берега значения l_2 и частичного l_{2j} находятся аналогичным образом: необходимо подставить в формулу (18) вместо B_1 значение B_2 , а в формулу (19) вместо n_1 – значение n_2 .

Выводы

В руслах горных и предгорных водотоков в результате оползаний (обвалов) береговых склонов нередко образуются завальные грунтовые плотины, полностью перекрывающие русло водотока. С верхней стороны от них аккумулируются водные массы, перелив которых через плотину может привести к разрушению последней и возникновению катастрофического прорывного селевого потока, угрожающего безопасности жизнедеятельности нижерасположенных территорий. В этих условиях важное значение имеет оперативная оценка масштабов риска и гидрогеоморфологических характеристик руслового водоема.

Получены расчетные зависимости для аналитического нахождения необходимых характеристик (полного, частично заполненного) завального водоема, а также значений резервных объема и времени наполнения водоема, основанные на дистанционно определенных параметрах отдельных точек, расположенных на завальной плотине и прилегающем русле водотока.

References

1. Zolotarev E.A., Kirpichnikov S.Ya., Sejnova I.B. Rezultaty nablyudenij za opolznevyimi ochagami v nizhnem techenii seleopasnyh rek s primeneniem fotogrammetricheskogo metoda / v kn.: Seli v gornyh rajonah SSSR. – M.: MGY, 1979. – S. 84-87.
2. Sheko A.I. Zakonomernosti formirovaniya i prognoz selya. – M.: Nedra, 1980. – 296 s.
3. Vinogradov Yu.B. Perspektivy prognozirovaniya selevyh potokov // Tezisy Vserossijskoj konferentsii po selyam 8-11 oktyabrya 2002 g. – Nalchik: VGI. 2002. – S. 54-57.
4. Mukailov S.M., Rubtsov E.A. Opolzni i opolznevye zonirovaniye Severnogo Kavkaza // Trudy Vserossijskoj konferentsii po selyam 26-28 oktyabrya 2005 g. VGI. – M.: VGI, 2008. – S. 377-398.
5. Zaporozhchenko E.V. Seli bassejna reki Gerhozhan-Su: istoriya proyavleniya, usloviya formirovaniya, energeticheskie harakteristiki // Sb. nauchnyh trudov SKGVH. Vyp. 15. – Pyatigorsk: SKGVH, 2002. – S. 80-148.
6. Golubev G.N. Hidrologiya lednikov. – L.: Gidrometeoizdat, 1976. – 248 s.

7. **Гнездилов Ю.А.** О влиянии оползня «Бузулган» на селевые потоки р. Герхожан-Су // Сборник научных трудов СКГВХ. Вып. 15. – Пятигорск: СКГВХ, 2002. – С. 149-162.

8. **Акулов В.В.** Некоторые наблюдения над состоянием Сарезского озера в 1946 г. // Известия Всесоюзного географического общества. – 1948. – Т. 80, № 3. – С. 246-258.

9. **Габибов Ф.Г., Оджагов Г.О., Баят Х.Р.** Об инженерных методах предотвращения катастрофических прорывов плотин горных озер, образовавшихся при сейсмических процессах // Геориск. – 2013. – № 2. – С. 42-45.

10. **Ищук Н.Р.** Усойский завал на озере Сарез // Геориск. – 2014. – № 1. – С. 46-52.

11. **Голубев Г.Н., Флейшман С.М.** Основные механизмы формирования селей и пути их прогнозирования // Селевые потоки и горные русловые процессы / АНАрм. ССР. – Ереван: АНАрм, 1968. – С. 55-61.

12. **Назришов Х.А.** Мониторинг региональных природных систем высокогорных озер // Геориск. – 2014. – № 1. – С. 53-59.

13. **Pramono J., Savitri E.** Flashfloodin Arauwatershed, West Sumatera: amitigationstudy (2018). <https://doi.org/10.1051/mateconf/201822903002>.

14. **Эристов В.С.** Аварии плотин // Энергохозяйство за рубежом. – 1966. – № 5. – С. 1-7.

15. Методика моделирования селевого бассейна в условиях горной криолитозоны / Петраков Д.А., Тутубалина О.В., Черноморец С.С. и др. // Криолитозона Земли. – 2004. – № 3. – С. 57-67.

16. **Свирипов С.С.** Систематизация прорывоопасных озер на территории Горного Алтая (с помощью методов ДЗЗ) // Четвертые Виноградовские чтения: Сборник докладов «Гидрология: от познания к мировоззрению». – СПб.: ООО «Издательство ВВМ», 2020. – С. 353-357.

17. **Коновалов В.Г.** Дистанционный мониторинг прорывоопасных высокогорных озер на Памире // Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита. Труды Международной конференции, 22-29 сентября 2008 г., СКГВХ. – Пятигорск: СКГВХ, 2008. – С. 301-304.

18. **Коновалов В.Г., Рудаков В.А.** Дистанционное определение резервного объема прорывоопасных высокогорных озер // Лед и Снег. – 2016. – № 56(2). – 235-245.

19. **Бернштейн И.Н., Семендяев К.А.** Справочник по математике: Пер. с нем. – М.: Наука, 1980. – 915 с.

20. **Анахаев К.Н.** Аналитическое определение длины дуги эллиптической кривой // Известия РАН. Механика твердого тела. – 2019. – № 5. – С. 179-183.

Критерии авторства

Анахаев К.К. выполнил теоретические исследования, на основании которых провел обобщение и написал рукопись. Имеет на статью авторское право и несёт ответственность за плагиат.

Статья поступила в редакцию 07.11.2021

Одобрена после рецензирования 18.04.2022

Принята к публикации 25.04.2022

7. **Gnezdilov Yu.A.** O vliyaniy opolznya «Buzulgan» na selevye potoki r. Gerhozhan-Su // Sb. nauchnyh trudov SKGVH. Vyp. 15. – Pyatigorsk: SKGVH, 2002. – S. 149-162.

8. **Akulov V.V.** Nekotorye nablyudeniya nad sostoyaniem Sarezskogo ozera v 1946 g. // Izvestiya Vsesoyuznogo geograficheskogo obshchestva. – 1948. – T. 80. № 3. – S. 246-258.

9. **Gabibov F.G., Odzhagov G.O., Bayat H.R.** Ob inzhenernyh metodah predotvrashcheniya katastroficheskikh proryvov plotin gornyh ozer, obrazovavshihya pri seismicheskikh protsessah // Georisk. – 2013. – № 2. – S. 42-45.

10. **Ishchuk N.R.** Usojskiy zavaal na ozere Sarrez // Georisk. – 2014. – № 1. – S. 46-52.

11. **Golubev G.N., Fleishman S.M.** Osnovnye mehanizmy formirovaniya selej i puti ih prognozirovaniya // Selevye potoki i gornye ruslovyie protsessy. ANArm. SSR. – Erevan: ANArm, 1968. – S. 55-61.

12. **Nazrishoev H.A.** Monitoring reionalnyh prirodnyh system vysokogornyh ozer // Georisk. – 2014. – № 1. – S. 53-59.

13. **Pramono J., Savitri E.** Flashfloodin Arauwatershed, West Sumatera: amitigationstudy (2018). <https://doi.org/10.1051/mateconf/201822903002>.

14. **Eristov V.S.** Avarii plotin // Energozoyajstvo za pubezhom. – 1966. – № 5. – S. 1-7.

15. Metodika modelirovaniya selevogo bassejna v usloviyah gornoj kriolitozony / Petrakov D.A., Tutubalina O.V., Chernomorets S.S., i dr. // Kriolitozona Zemli. – 2004. – № 3. – S. 57-67.

16. **Sviripov S.S.** Sistematzatsiya proryvoopasnyh ozer na territorii gornogo Altaya (s pomoshchyu metodov DZZ) // Chetvertye Vinogradovskie chteniya. Sb. dokladov Hidrologiya ot poznaniya k mirovoznreniyu. – SPb.: ООО «Izdatelstvo VVM» – 2020. – S. 353-357.

17. **Konovalov V.G.** Dstantsionnyj monitoring proryvoopasnyh vysokogornyh ozer na Pamire // Selevye potoki: katastrofy, risk, prognoz, zashchita. Trudy Mezhdun. konf. 22-29 sentyabrya 2008 g. SKGVH. – Pyatigorsk: SKGVH, 2008. – S. 301-304.

18. **Konovalov V.G., Rudakov V.A.** Dstantsionnoe opredelenie rezervnogo objema proryvoopasnyh vysokogornyh ozer // Led i Sneg. – 2016. – № 56(2). – 235-245.

19. **Bernshtein I.N., Semendyaev K.A.** Spravochnik po matematike (perevod s nem.). – M.: Nauka. 1980. – 915 s.

20. **Anakhaev K.N.** Analiicheskoe opredelenie dliny dugi ellipticheskoy krivoj // Izvestiya RAN. Mehanika tverdogo tela. – 2019. – № 5. – S. 179-183.

Criteria of authorship

Anakhaev K.K. performed theoretical research, on the basis of which he conducted a generalization and wrote the manuscript. Anakhaev K.K. has copyright on the article and is responsible for plagiarism.

The article was submitted to the editorial office 07.11.2021

Approved after reviewing 18.04.2022

Accepted for publication 25.04.2022