

УДЕЛЬНЫЙ ВОДОСБОР КАК ГИДРОЛОГО- ГИДРОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОЗЁР ОАЗИСОВ ВОСТОЧНОЙ АНТАРКТИДЫ

М.Р. Кузнецова^{1,2)}

¹⁾ *Арктический и антарктический научно-исследовательский институт, г. Санкт-Петербург, Россия*

²⁾ *Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия*
e-mail: rotefliege@mail.ru

Рассматривается удельный водосбор применительно к озёрам антарктических оазисов: особенности его определения, величина, связь с амплитудой колебаний уровня воды озёр. Для исследования выбраны водоёмы 3 приморских оазисов Восточной Антарктиды: Ширмахера (4 озера), Холмы Ларсеманн (10 озёр) и Молодёжный (2 озера). Общая специфика природных условий региона (питание озёр талыми водами снежников и ледников, неравномерность распределения снежно-ледовых участков на водосборах) обусловила методическую необходимость расчёта приведённого удельного водосбора. Впервые определены его абсолютные величины для озёр оазисов (характерное значение – менее 6). Зависимость величин показателя и амплитуды колебаний уровня не может быть описана единой кривой связи, так как зависит от режима стока озера.

Ключевые слова: антарктический оазис; водосбор; уровень воды озера; режим стока; гидрографическое описание; снежники

SPECIFIC CATCHMENT AS HYDROLOGICAL AND HYDROGRAPHIC CHARACTERISTIC OF LAKES OF THE EAST ANTARCTICA OASES

M.R. Kuznetsova^{1,2)}

¹⁾ *Arctic and Antarctic Research Institute, Saint Petersburg, Russia*

²⁾ *Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russia*
e-mail: rotefliege@mail.ru

Specific catchment as applied to lakes of Antarctic oases is considered: definition features, value, relationship with the amplitude of lake water level fluctuations. Selected objects for the study are lakes in 3 East Antarctic seaside oases: Schirmacher (4 lakes), Larsemann Hills (10 lakes) and Molodyoznyj (2 lakes). The general specificity of the natural conditions of the region (meltwater-fed lakes from snowfields and glaciers, the uneven distribution of snow-ice areas at catchments) has led to the methodical necessity of calculation of the adduced specific catchment. For the first time its absolute values for oasis lakes (characteristic value - less than 6) were determined. The dependence of values of specific catchment and amplitude of water level fluctuations cannot be described by a single curve, as it depends on the lake flow regime.

Keywords: Antarctic oasis; catchment; lake water level; hydrographic description; snow fields; flow regime

Степень влияния водосбора на гидрологический режим озера принято выражать через удельный водосбор – соотношение площадей самого объекта и водосборной территории [1, с. 37]. Он используется при водно-балансовых оценках, расчётах поступления растворённых и твёрдых веществ к озёрам различных регионов. Целью настоящей работы является рассмотрение удельного водосбора как одной из основных гидролого-гидрографических характеристик применительно к озёрам антарктических оазисов. Анализ наличия связи этого показателя с амплитудой колебаний уровня позволит оценить возможность использования удельного водосбора при изучении водного режима озёр оазисов, что представляется актуальным в виду низкой гидрологической изученности этого труднодоступного региона.

Удельный водосбор f определяется по формуле (1) и является обратным показателем площади озера K [1; 2]:

$$f = \frac{F_{\text{вдсб}}}{F_{\text{оз}}} = \frac{1}{K} \quad (1)$$

где $F_{\text{вдсб}}$ – площадь водосбора (м^2), $F_{\text{оз}}$ – площадь озера (м^2).

Сравнение удельных водосборов различных озёр методически корректно, если объекты расположены в одинаковых гидрологических зонах, иначе следует рассчитать приведённый удельный водосбор $f_{\text{пр}}$ (2): произведение величины удельного водосбора f , модуля стока M и условного модуля $M_{\text{усл}}$ [1]; при этом модуль стока соответствует объёму стока Q , отнесённому к площади водосбора $F_{\text{вдсб}}$.

$$f_{\text{пр}} = \frac{F_{\text{вдсб}}}{F_{\text{оз}}} \times \frac{M}{M_{\text{усл}}} = f \times \frac{Q}{F_{\text{вдсб}}} \times \frac{F_{\text{вдсб}}}{Q_{\text{усл}}} \quad (2)$$

Можно ли сравнивать удельные водосборы различных озёр антарктических оазисов между собой? Жидкие осадки в данном регионе практически не выпадают; приток воды к озёрам формируется в основном поступлением талой воды с ледников и снежников в течение короткого антарктического лета [3]. То есть, поступающий к озеру слой стока с водосбора W (3) определяется: с одной стороны – метеорологическими условиями, с другой – площадью снежно-ледовых участков на водосборе. Метеорологические условия определяют период таяния снега и величину собственно слоя таяния H . Осадки, выпадающие в виде снега и формирующие снежники, распределяются по территории оазисов неравномерно, поэтому площадь снежно-ледовых участков $F_{\text{сн.л.}}$ на водосборах неодинакова.

$$W = \frac{H \times F_{\text{сн.л.}}}{F_{\text{вдсб}}} \quad (3)$$

Таким образом, сравнивать величины удельных водосборов озёр между собой допустимо, если они расположены в пределах одного оазиса

(или в оазисах со схожими метеорологическими условиями) и площади снежно-ледовых участков на их водосборах одинаковы. Однако для большинства объектов второе условие не соблюдается, необходимо дополнительно рассчитывать приведённый удельный водосбор.

Воспользуемся формулой (2), несколько изменив её, поскольку для территории Антарктиды карты модуля стока не составлены. Объём талого стока с территории определяется прямо пропорционально площади снежно-ледовых участков $F_{\text{сн.л.}}$ (м^2). Чтобы уйти от абсолютных значений, будем использовать доли площади снежно-ледовых участков на водосборе (%). Предлагается (4) для расчёта приведённого удельного водосбора озёр антарктических оазисов $f_{\text{пр.о.}}$ рассматривать произведение величины удельного водосбора f и соотношения доли фактических снежно-ледовых участков на водосборе $F_{\text{сн.л.}\%}$ к условной доле $F_{\text{сн.л.}\% \text{усл}}$ (принята равной 50%).

$$f_{\text{пр.о.}} = f \times \frac{F_{\text{сн.л.}}}{F_{\text{вдсб}}} \times \frac{F_{\text{вдсб}}}{F_{\text{сн.л.усл}}} = f \times \frac{F_{\text{сн.л.}\%}}{F_{\text{сн.л.}\% \text{усл}}} \quad (4)$$

В данной работе рассматриваются озёра трёх приморских оазисов Восточной Антарктиды, имеющих в целом схожие природные условия: Ширмахера (4 озера), Холмы Ларсеманн (10 озёр) и Молодёжный (2 озера).

Данные о площадях водосборов, водоёмов и снежно-ледовых участках для некоторых объектов, необходимые для расчёта, доступны в публикациях [4; 5; 6; 7; 3; 8;]; при отсутствии данных в публикациях площади были определены по топографическим картам [9; 10; 11] и спутниковым снимкам *Google Earth Pro*. Амплитуда уровневых колебаний озёр определена с привлечением данных полевых гидрологических наблюдений сезонов 63-й – 67-й Российской Антарктической Экспедиции в оазисе Холмы Ларсеманн (2017-2022 гг.), некоторые были получены при участии автора настоящей работы, часть материалов предоставлена коллегами; использованы данные, представленные в публикациях [12; 10; 13; 4]; задействованы некоторые материалы фондов ААНИИ [14; 15].

С методической точки зрения, при определении каждой из указанных величин существуют сложности, требующие в конечном итоге некоторых допущений.

- Границы водосборов на леднике (озера Поморника, Смирнова, Прогресс, Болдер), проведены несколько условно, хотя для обоснования границ были использованы направления стока временных поверхностных ручьёв.

- Площади снежников и ледников изменяются год от года и в течение сезона, как и площади водоёмов, зависящие от уровня воды. Следовало бы использовать средние многолетние сезонные значения, что на данном этапе невозможно в связи с отсутствием достаточного количества данных.

- При анализе связи величины удельного водосбора и амплитуды колебаний уровня воды принято использовать многолетнее значение, однако в антарктическом регионе обычно доступны данные длиной не более 1-2, реже 3-5 сезонов. В данной работе амплитуды определены по доступным материалам измерений. Амплитуда уровенных колебаний рассчитана как среднее арифметическое за все годы наблюдений. При этом, исключались из рассмотрения короткие периоды наблюдений, не отражающие характерный водный режим озёр и основные колебания уровня (прорывы снежно-ледовых плотин, приток талых вод). Средняя амплитуда колебаний озёр оазиса Молодёжный (Глубокое, Лагерное) в связи с дефицитом данных определена с учётом максимальных значений и периодичности их прорывов [4].

Расчёт удельного водосбора произведён по формуле (1), приведённого удельного водосбора – по формуле (4). Учитывая все перечисленные и принятые допущения, будем считать, что на данном этапе все представленные результаты носят оценочный характер.

Результаты представлены на рис. 1. В общем случае, удельный (приведённый удельный) водосбор может быть представлен малыми (<10), средними (10–100) или большими (>100) значениями [16]. Применительно к антарктическим оазисам, большинство (12 из 17) рассмотренных случаев относится к группе малых значений, ещё 4 случая – средних значений и единственной случай превышает 100. В отдельных случаях величина приведённого удельного водосбора может изменяться – из-за увеличения площади водосбора объекта при включении его в озёрный каскад. Формирование последнего приурочено к прорывам снежно-ледовых плотин или при оттоке воды при переполнении. В данной работе озёра рассмотрены с учётом площадей, входящих в каскад, поскольку рассматриваемые амплитуды колебаний обусловлены прорывами выше расположенных объектов. Для озера Сибторп рассмотрены два случая: амплитуда уровенных колебаний в половине случаев обусловлена собственным прорывом (вне каскада), а в другой половине – пропуском прорывных паводков из озера Прогресс (в каскаде). На примере озера Сибторп видно, что величина приведённого удельного водосбора при включении в каскад может увеличиваться в несколько раз (здесь – от 5.8 до 18.8), при этом амплитуда уровенных колебаний может уменьшиться.

Удельный водосбор принято связывать с естественной регулирующей способностью водоёма через амплитуду уровенных колебаний: чем меньше площадь зеркала озера относительно площади водосбора, тем больше воздействие водосбора на водоём, тем больше приток, тем ниже способность саморегулирования этого притока в озеро и стока из него, – тем больше амплитуда колебаний уровня воды [1; 2; 16]. В целом для озёр антарктических оазисов эта взаимосвязь не устанавливается (рис. 1б) и не

может быть описана единой кривой. При этом, точки образуют группы в зависимости от режима стока, что предполагает проведения серии кривых (на данном этапе – очень условное из-за малого количества точек в каждой группе). Примечательно, что внутри таких групп взаимосвязь величин удельного водосбора и амплитуды колебаний уровня наблюдается. Нарушение линейной зависимости связано с тем, что амплитуда колебаний уровня определяется ещё и возможностью оттока воды из озера. В антарктических оазисах место формирования стока нередко перекрыто подпруживающими снежно-ледовыми плотинами: что обуславливает более высокую амплитуду колебаний уровня при прорыве.

Линейная связь между амплитудой колебаний уровня и долей снежно-ледовых участков на водосборе также не выявлена (рис. 1в). Однако, озёра образуют три группы с диапазонами: до 25% (7 озёр, на водосборе снежники), 45-60% (4 озера, снежники; 2 озера, снежники и ледники) и более 85% (4 озера, ледники (преобладают) и снежники).

Таким образом, применение удельного водосбора к озёрам антарктических оазисов имеет особенности, связанные со спецификой природных условий региона. Влияние водосбора на водный режим объекта не может быть описано с позиций только гидрографического подхода – через соотношение площадей «озеро-водосбор»; для сопоставления разных объектов требуется расчёт величин приведённого удельного водосбора. Связь с амплитудой уровенных колебаний не может быть описана через единую кривую, а однозначное проведение серии кривых на данном этапе затруднено недостатком данных наблюдений. Впоследствии предстоит решить ряд вопросов: определение допустимой степени различия метеорологических условия разных оазисов; уточнение границ водосборов, включающих ледники.

Благодарности. Автор благодарит Пряхину Г.В. за консультации при подготовке работы, коллег Боронину А.С. и Четверову А.А. за предоставленные материалы, а также Григорьеву С.Д. и Киньябаеву Э.Р. за предоставленные материалы и активное сотрудничество во время экспедиционных работ. Автор выражает признательность Российской Антарктической экспедиции за возможность проведения полевых работ и помощь в их организации.

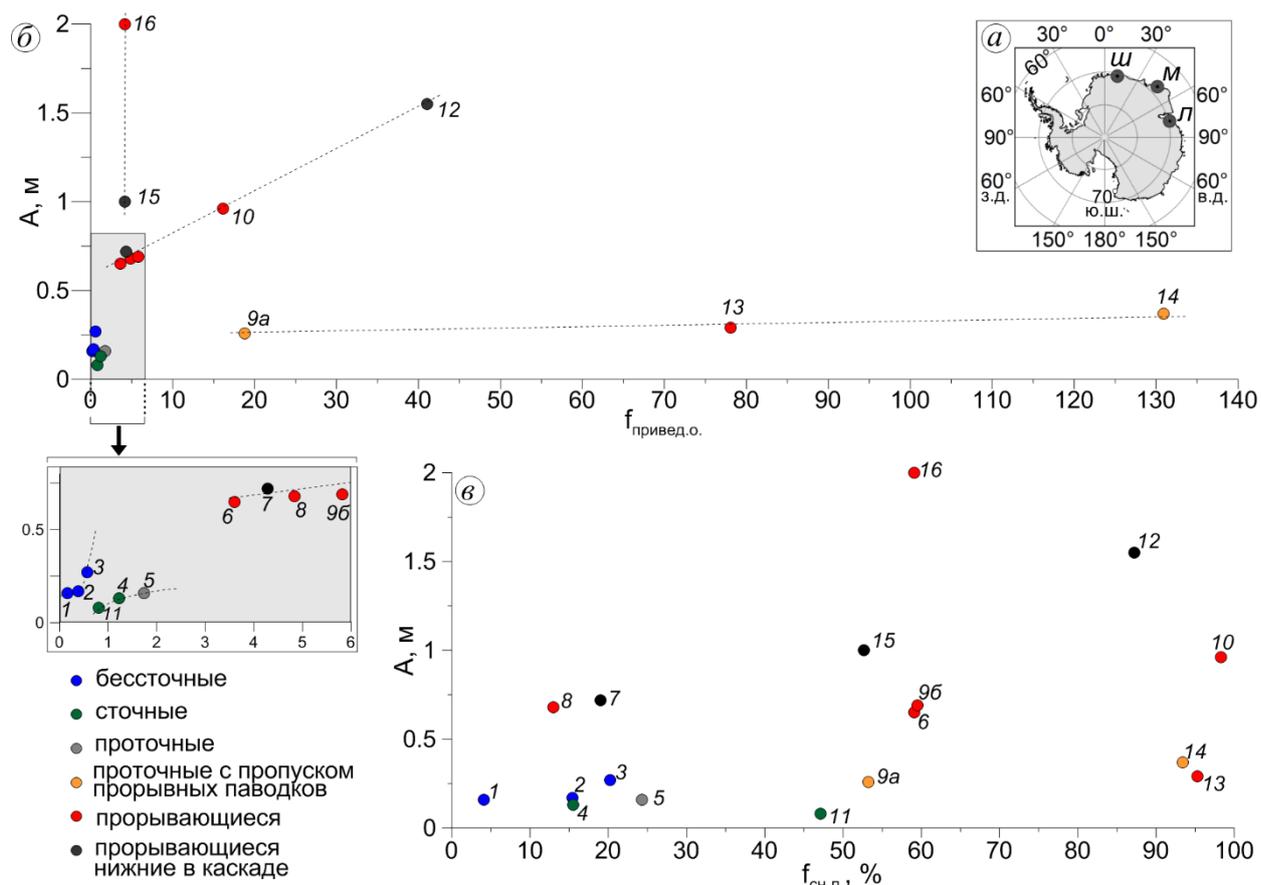


Рис. 1. Влияние водосбора озёр антарктических оазисов на колебания уровня воды. а – схема расположения оазисов; графики связи амплитуды колебаний уровня (A) и: б – приведённого удельного водосбора ($f_{\text{привед.о.}}$), в – доли снежно-ледовых участков от площади водосбора ($f_{\text{сн.л.}}$). Буквами обозначены оазисы (секция а), цифрами – озёра (секции б, в) в оазисах: Холмы Ларсеманн (л): 1 – Лоу, 2 – Рейд, 3 – ЛН-73, 4 – Степед, 5 – Скандретт, 6 – Прогресс, 7 – Дискашн, 8 – ЛН-59, 9а – Сибторп в каскаде, 9б – Сибторп в каскаде, 10 – Болдер; Ширмахера (ш): 11 – Верхнее; 12 – Глубокое, 13 – Смирнова, 14 – Поморника; Молодёжный (м): 15 – Глубокое, 16 – Лагерное.

Библиографические ссылки

1. Григорьев С.В. О некоторых определениях и показателях в озераведении // Труды Карельского филиала Академии наук СССР. 1958. Вып. 8. С. 29-45.
2. Богословский Б.Б. Озёроведение. Изд-во МГУ, 1960, 332 с.
3. Кузнецова М.Р., Пряхина Г.В., Григорьева С.Д., Киньябаева Э.Р. Факторы формирования поверхностного притока к озерам антарктического оазиса Холмы Ларсеманн // Проблемы Арктики и Антарктики. 2021. Т. 67, № 3. С. 293-309. DOI 10.30758/0555-2648-2021-67-3-293-309.
4. Шаров А.Н., Толстикова А.В. Экологические проблемы озёр Восточной Антарктиды // Региональная экология. 2018. Т. 53, № 3. С. 5-14.
5. Боронина А.С., Попов С.В., Пряхина Г.В. // Гидрологическая характеристика озёр восточной части полуострова Брокнес, Холмы Ларсеманн, Восточная Антарктида. Лёд и снег. 2019. Т. 59, № 1. С. 39-48. DOI 10.15356/2076-6734-2019-1-39-48.

6. Pryakhina G.V., Boronina A.S., Popov S.V., Chetverova A.A. Hydrological Studies of Lake Outbursts in the Antarctic Oases // Russian Meteorology and Hydrology. 2020. Vol. 45, No. 2. P. 118-123. DOI 10.3103/S1068373920020077.

7. Boronina A., Popov S., Pryakhina G., Chetverova A., Grigoreva S., Ryzhova E. Formation of a large ice depression on Dâlk Glacier (Larsemann Hills, East Antarctica) caused by the rapid drainage of an englacial cavity // Journal of Glaciology. 2021. Vol. 67, No. 266. P. 1121-1136. DOI 10.1017/jog.2021.58.

8. Grigoreva S.D., Kuznetsova M.R., Kiniabaeva E.R. New data on Progress Lake (Larsemann Hills, East Antarctica): Recently discovered subglacial part of the basin // Polar Science. Special Issue: "Research Advances from Larsemann Hills, Antarctica: International Cooperation and Future Prospects". 8 pp. (In press) <https://doi.org/10.1016/j.polar.2023.100925>.

9. Антарктида, Земля Королевы Мод, оазис Ширмахера: карта / Лист 3. Масштаб: 1:25 000. Министерство Морского флота СССР. 1972.

10. Атлас океанов. Антарктика / Отв. ред. Куроедов В.И. Министерство обороны РФ, Военно-Морской Флот, Главное управление навигации и океанографии министерства обороны РФ, Государственный научный центр Российской Федерации Арктический и Антарктический научно-исследовательский институт. 2005. 280 с.

11. Australian Antarctic Division, Australian Antarctic Territory, Broknes Peninsula, Larsemann Hills, Princess Elizabeth Land, Antarctica: Environmental management map / Scale 1:10 000, edition 1. Map no. 13135. 2005.

12. Вайгачев А.З. Прорыв ледяной «плотины» озера Лагерного // Бюллетень Советской Антарктической Экспедиции. Л.: Гидрометеорологическое издательство. 1965. №54. С. 58.

13. Shevnina E., Kourzeneva E. Thermal regime and components of water balance of lakes in Antarctica at the Fildes peninsula and the Larsemann Hills // Tellus A. Dynamic Meteorology and Oceanography. 2017. P. 1-24.

14. Отчёт о выполнении программы «Комплексные исследования рельефа, снежников и краевой зоны ледникового покрова в районе станции Новолазаревская» в сезонный период 59 РАЭ (2012-2013 гг.) // Отв. исполн. Степанова О.В. Антарктида, ст. Новолазаревская. 2014. 46 с. Госфонд ФГБУ «ААНИИ». Инв. № О-3851.

15. Отчёт сезонной 61-й Российской Антарктической экспедиции. Т.2. О выполнении научных программ // Антарктика. 2016. 492 с. Госфонд ФГБУ «ААНИИ». Инв. № О-3932.

16. Кондратьев С.А., Алябина Г.А., Сорокин И.Н. Оценка природной составляющей внешней нагрузки органическим веществом и биогенными элементами на водоемы северо-запада России // География и природные ресурсы. 2010. № 4. С. 130-136.