

УДК 556.555

DOI: 10.15853/2072-8212.2018.51.47-59

## МНОГОЛЕТНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОЛОГИЧЕСКОГО РЕЖИМА ОЗЕРА АЗАБАЧЬЕГО (БАСЕЙН Р. КАМЧАТКИ)

Л.А. Базаркина



Вед. н. с., к. б. н.; Камчатский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии  
683000 Петропавловск-Камчатский, Набережная, 18  
Тел., факс: (4152) 41-27-01, 22-63-54. E-mail: bazarkina.l.a@kamniro.ru

ВОДООБМЕН, ЛЕДОСТАВ, ТЕМПЕРАТУРА ВОДЫ, ТЕМПЕРАТУРА ВОЗДУХА, ОСАДКИ, УРОВЕНЬ ВОДЫ,  
ОЗЕРО АЗАБАЧЬЕ

На основании гидрологических исследований, проведенных в оз. Азабачьем в 1981–2017 гг., дана характеристика термического, ледового и уровенного режимов нагульно-нерестового водоема нерки. Установлено, что гидрологический режим сточно-проточного димиктического оз. Азабачьего обусловлен особенностями морфологии и морфометрии, географического положения и климатических условий в бассейне водоема. Существенное влияние на водный режим озера в зимние месяцы оказывают степень выхолаживания водных масс водоема в период установления ледостава и поток тепла в гипolimнион из донных иловых отложений. Высоту пиков половодья регулирует количество осадков, выпавших на водосбор озера с ноября предшествующего года по апрель текущего. Температура водной толщи пелагиали водоема в период активного развития гидробионтов (июнь–ноябрь) зависит от температуры воздуха в бассейне озера в летне-осенние месяцы.

## LONGTERM CHANGES OF HYDROLOGICAL REGIME OF AZABACHYE LAKE (KAMCHATKA RIVER BASIN)

Lidia A. Bazarkina

Leading Researcher, Ph. D. (Biology); Kamchatka Research Institute of Fisheries and Oceanography  
683000 Petropavlovsk-Kamchatsky, Naberezhnaya, 18  
Tel., fax: (4152) 41-27-01, 22-63-54. E-mail: bazarkina.l.a@kamniro.ru

WATER EXCHANGE, FREEZING-OVER, WATER TEMPERATURE, AIR TEMPERATURE, PRECIPITATION, WATER LEVEL, AZABACHYE LAKE

Characterization of the temperature and ice conditions and level regime of Azabachye Lake is made based on the hydrological researches carried out on this sockeye salmon spawning and nursery water body in 1981–2017. It was found, that the hydrological regime of the flow-through, dimictic Azabachye Lake is predetermined by morphological and morphometric specifics, geographical position and climate conditions within mentioned lake basin. An important role in the water regime of the lake in winter months is played by the degree of cooling the aquatic masses in the course of freezing-up the lake and the flow of warmth into the hypolimnion from bottom deposits of silt. The height of the peaks of flood is determined by the amount of precipitation within the catchment area from November of previous year to April of current year. The temperature of the water in the pelagic zone of the lake at intense development of hydrobionts (June–November) depends on the air temperature in the basin of the lake in summer and autumn months.

В озере Азабачьем, расположенном на восточном побережье полуострова Камчатка, воспроизводится одно из крупнейших азиатских стад нерки (*Oncorhynchus nerka* Walb.) (Бугаев, 2011). Гарантией высокопродуктивных подходов нерки в бассейне р. Камчатки могут служить эффективный нерест производителей (Паренский, 1992) и благоприятные условия среды обитания молоди рыб в пресноводный период.

Ведущая роль в регуляции численности гидробионтов всех трофических уровней, несомненно, принадлежит биотическим условиям (обеспеченность пищей, пресс хищников, присутствие пищевых конкурентов). Тем не менее немаловажны абиотические факторы водной среды, которые оказывают как прямое, так и косвен-

ное влияние на динамику популяций водных организмов. Так, величина солнечной радиации определяет интенсивность фотосинтеза, продолжительность светового дня — фазы физиологического состояния гидробионтов и характер их вертикальных миграций (Базаркина, 1993, 2004б). Температурный режим водных масс озера регулирует рождаемость, темпы развития и питания водных организмов, а наряду с ветровой деятельностью приводит к изменениям их пространственного распределения (Базаркина, 2004а; Базаркина и др., 2006). Поверхностный сток и циркуляция озерных вод обеспечивают пелагиаль водоема биогенными элементами, необходимыми для жизнедеятельности планктона и рыб (Базаркина, 2002).

Цель работы — провести анализ многолетней динамики гидрологического режима оз. Азабачье-го и установить факторы, его определяющие.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Материалом для исследований послужили результаты наблюдений за динамикой гидрологических процессов в экосистеме оз. Азабачье-го в 1981–2017 гг.

Работы выполняли на постоянной станции, расположенной в юго-восточной части максимальных глубин озера, где в 1950–60-е годы проводили исследования Е.М. Крохин (1972) и И.И. Куренков (1972), в 1964–1969 гг. — С.П. Белоусова (1972).

Гидрологические съемки проводили один раз месяц в период ледостава (декабрь–май) и еженедельно в летне-осенние месяцы. В каждую дату наблюдений измеряли температуру воды глубокowodным опрокидывающимся термометром (1981, 1988–2014 гг.) и гидроанализатором “Hogiba” (1982–1987 гг.) на горизонтах 0, 5, 10, 15, 20, 25 и 33 (35) м, с 2015 г. — гидрологическим зондом “Cast Away” по вертикали пелагиали водоема от

дна до поверхности. В период ледостава измеряли высоту снежного покрова и толщину льда, в летне-осенние месяцы — прозрачность воды диском Секки и уровень воды в прибрежной зоне озера над условной «нулевой» отметкой переносной рейкой (июнь–август один раз в три дня, сентябрь–ноябрь — через 5–10 дней до появления заберегов).

При оценке влияния метеорологических условий на водный режим в пелагиали оз. Азабачье-го использовали данные о количестве осадков и температуре воздуха на гидрометеорологическом посту Камчатского УГМС «Большие Щеки» (1981–2011 гг.), расположенном на левом берегу р. Камчатки у подножия хребта Кумроч в 10 км от водоема (рис. 1).

Показатель условного водообмена ( $K_v$ ) и период водообновления озерных вод ( $T_v$ ) рассчитывали по формулам С.В. Григорьева (1958):

$$K_v = V_{ст}/V_{оз}, T_v = 1/K_v = V_{оз}/V_{ст};$$

где  $V_{оз}$  — объем озера,  $m^3$ ;  $V_{ст}$  — среднегодовой сток из озера,  $m^3$ .

Анализ гидрометеорологических материалов проводили с применением программ Excel, Surfer и Statistica.

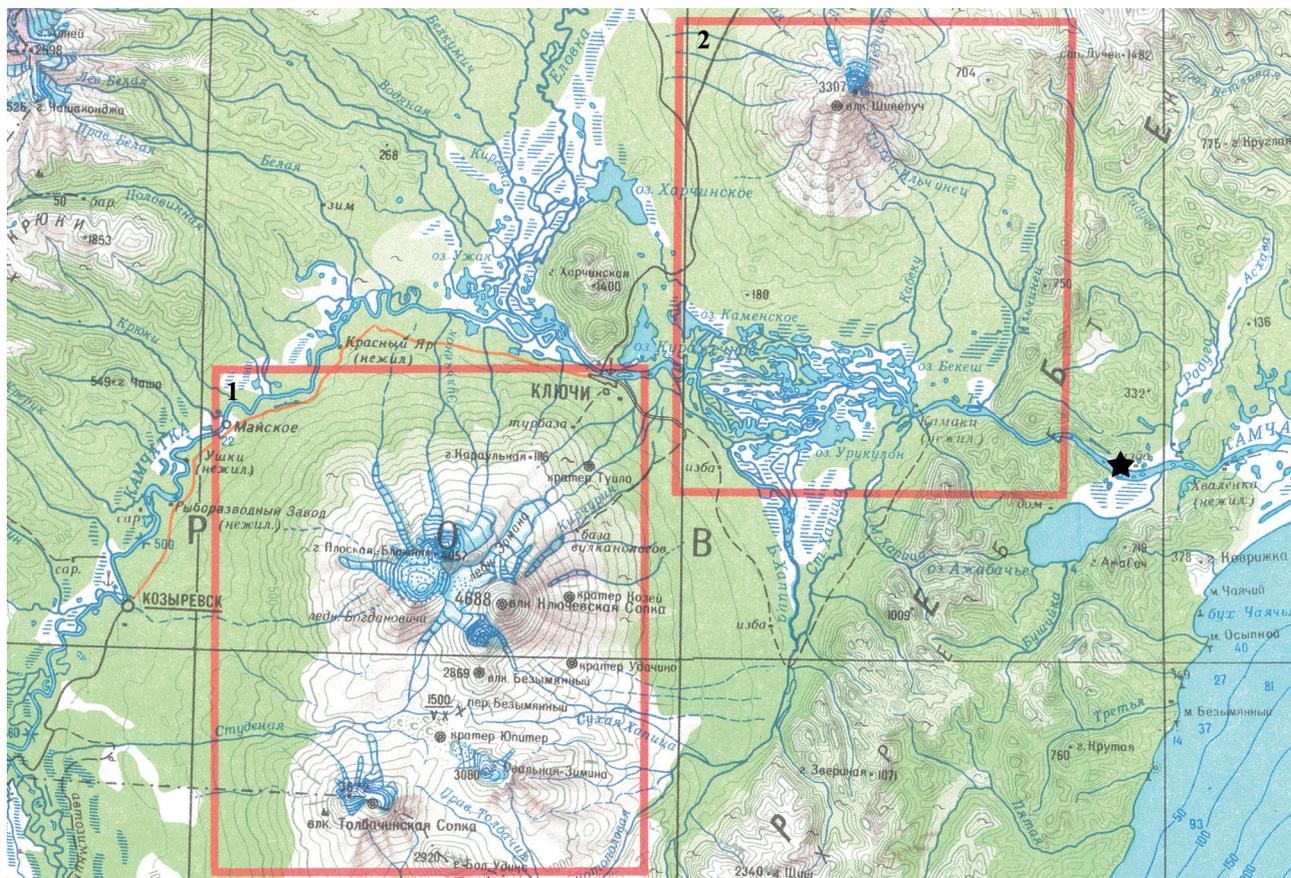


Рис. 1. Географическое положение бассейна оз. Азабачье-го: 1, 2 — районы активной вулканической деятельности; ★ — гидрометеопост «Большие Щеки»  
 Fig. 1. The geographical position of the basin of the Azabachye Lake: 1, 2 – sites of intense volcanic activities; ★ – the meteorological and hydrological observation station “Bolshie Scheki”

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

**Происхождение и морфология.** Озеро Азабачье расположено на восточном побережье Камчатского полуострова в нижнем течении р. Камчатки (рис. 1). Географические координаты центра водоема: 56°08' с. ш. 161°46' в. д. Озеро занимает среднюю часть межгорной депрессии северо-восточного направления, ограниченной с запада хребтом Кумроч, с востока — хребтами Токинец и Коврижка с наиболее высокой вершиной г. Азабач (абс. отм. 700 м). На западе от бассейна водоема расположены постоянно действующие вулканы Ключевской группы, на северо-западе — вулкан Шивелуч.

Наименование озера исходит от слова коренных камчадалов «ажабача», которое означало место нереста поздней нерки (азабача) (Крашенинников, 1994). Существует мнение, что оз. Азабачье имеет реликтовое происхождение. Об этом свидетельствует наличие на хребте Коврижка и его отроге четырех террас, образованных в результате многовекового поднятия местности, которая ранее была заполнена водами морского залива (Лебедев, 1911; Державин, 1916). Постепенное накопление речных наносов р. Камчатки, впадающей в Камчатский залив, и поднятие суши привели к полному обособлению котловины озера (рис. 1).

Первые исследования морфометрии и термического режима озера были проведены гидрологом В.Н. Лебедевым (1911, 1916). Подробную физико-географическую характеристику бассейна водоема по материалам 1953–1957 гг. составил Е.М. Крохин (1972). Современные данные о морфологии водоема изложены в работе по паспортизации камчатских озер А.С. Николаева и Е.Т. Николаевой (1991), выполненной на основании эхолотных съемок ложа водоемов.

По площади (56,5 км<sup>2</sup>) оз. Азабачье относится к крупным водоемам Камчатского полуострова: его объем 1,026 км<sup>3</sup>; длина 13,0 км; ширина 7,8 км, средняя глубина 18,2 м. Около половины площади озера занято глубинами более 20 м, максимальная глубина 36,8 м лежит эксцентрично в юго-восточной части водоема (рис. 2). Литораль восточного берега озера практически не развита, здесь сразу начинается свал глубин. Литоральная зона западного и южного берегов развита сильнее, но ширина ее невелика.

Дно литорали озера большей частью сложено из каменисто-галечного грунта с примесью песка (Леванидова, Леванидов, 1972). В пелагиали котловина водоема покрыта мощными илами, образованными панцирями отмерших диатомовых водорослей и детритом различного происхождения.

**Климат.** Хребты, окружающие водоем, благоприятствуют созданию в бассейне озера умеренно-континентального климата с продолжительной холодной зимой и теплым летом, средним количеством осадков (950 мм в год) и сильными ветрами в осенние и зимние месяцы (Ресурсы поверхностных вод СССР, 1973; Кондратюк, 1974).

Ветровой режим в бассейне оз. Азабачьего формируется в процессе атмосферной циркуляции, подчиненной особенностям рельефа местности. Исходя из географической ориентации котловины водоема, с декабря до середины лета над бассейном озера преобладают ветры северо-восточного направления, в августе и осенние месяцы — юго-западного.

Среднегодовая температура воздуха в бассейне водоема изменяется от 1 до –2 °С (табл. 1). Зима длится шесть месяцев (ноябрь–апрель). Самый холодный месяц — январь. Средняя январская температура воздуха –16 °С, возможны дни с ми-

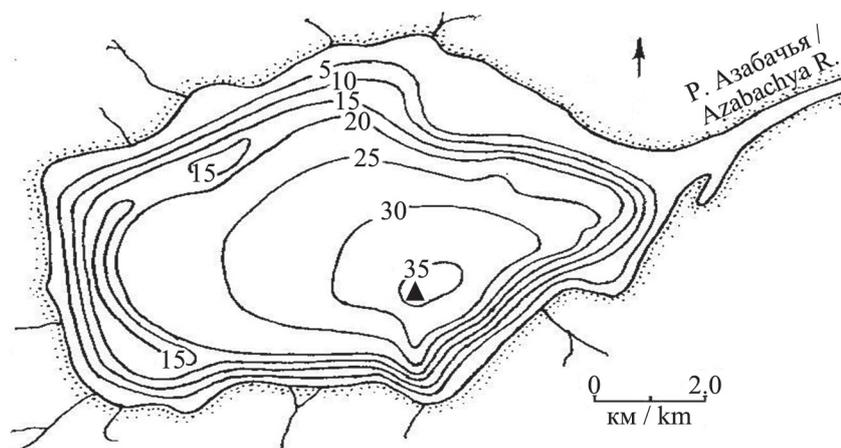


Рис. 2. Батиметрическая карта озера Азабачьего: 5, 10, ... 35 — изобаты, м; ▲ — станция сбора гидробиологических материалов  
 Fig. 2. The bathymetric map of the Azabachye Lake: 5, 10, ... 35 — the isobaths, m; ▲ — the point of sampling the hydrological data

нимальной температурой  $-42^{\circ}\text{C}$ . Низкие температуры воздуха отмечаются при безоблачной и тихой погоде. Формированию ветреной погоды с метелями способствуют циклоны, приходящие на полуостров с юго-запада. В такие дни вероятны оттепели. За зиму выпадает до 60% годовой суммы осадков, высота снежного покрова в среднем составляет 100 см.

В весенние месяцы скорость движения господствующих циклонов юго-западного направления снижается от 60 до 40 км/ч, количество осадков убывает до минимума (табл. 2). В мае при среднемесячной температуре воздуха  $+4^{\circ}\text{C}$  почва освобождается от снежного покрова. На вершинах хребтов снег может сохраняться до середины июля.

Для летнего периода характерны ветры переменного направления, обусловленные установлением термобарического равновесия между берингоморскими антициклонами и циклонами, приходящими на полуостров Камчатка с Японии и омывающих ее морей. Среднемесячная температура воздуха самого жаркого месяца июля равна  $+15^{\circ}\text{C}$  (табл. 1), средняя максимальная —  $+20^{\circ}\text{C}$ , продолжительность периодов с температурой воздуха выше  $30^{\circ}\text{C}$  составляет 7–10 дней. Во второй половине лета выпадает 60–70 мм осадков, иногда в виде ливневых дождей с грозами. В утренние и вечерние часы наблюдаются туманы. В третьей декаде августа на почве появляются заморозки.

Осень — короткая, с частыми, но непродолжительными дождями. В осенние месяцы при преобладании циклонов юго-восточного направления происходит быстрое снижение температуры воздуха. В конце октября среднесуточная температура переходит через  $0^{\circ}\text{C}$ , в ноябре появляется снежный покров.

**Гидрологическая характеристика.** По гидрологическому режиму оз. Азабачье относится к сточно-проточным, димиктическим водоемам. В озеро впадает около 15 притоков, которые берут начало в горах или на приозерных террасах. Наибольшая река — р. Бушуева, длина основного русла которой равна 40 км (рис. 1). Остальные реки невелики, их длина не превышает 10 км. Среднегодовой расход наиболее крупных водотоков составляет 2–7 м<sup>3</sup>/с (Базаркин, 1990).

Сток озерных вод в р. Камчатке осуществляется через р. Азабачью, расход воды которой в течение года изменяется от 35 м<sup>3</sup>/с в половодье до 16 м<sup>3</sup>/с в межень. При среднегодовом расходе воды р. Азабачьей 20 м<sup>3</sup>/с объем годового стока вод из озера равен 0,63 км<sup>3</sup>. Около 60% годового стока водоема приходится на подземные воды. Грунтовый сток в течение года постоянен, его величина (0,47 км<sup>3</sup>) равна стоку вод из водоема в период межени, когда объем озерных вод пополняется только за счет грунтового питания (Базаркин, 1990). Показатель условного водообмена состав-

Таблица 1. Среднемесячные и среднегодовые температура воздуха ( $^{\circ}\text{C}$ ) в бассейне оз. Азабачье (по данным гидрометеопоста «Большие Щеки» за 1981–2011 гг.)

Table 1. The average monthly and annual temperatures of the air ( $^{\circ}\text{C}$ ) in the basin of the Lake Azabachye (on the data from the meteorological and hydrological observation station "Bolshiye Scheki" for 1981–2011)

Характеристика года / Year characterization	Месяц / Month												Год Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Средний / Mediate (1981–2011)	-16,0	-13,7	-8,3	-1,9	4,1	11,2	15,1	14,2	9,1	2,8	-5,3	-14,2	-1,1
Теплый / Warm (2008)	-13,9	-13,3	-6,5	-1,4	3,8	13,1	16,3	14,8	11,1	2,4	-3,8	-9,8	1,1
Холодный / Cold (1987)	-21,2	-17,8	-5,3	-2,5	3,3	10,7	13,6	12,5	8,4	2,1	-5,1	-21,3	-1,9

Таблица 2. Месячные и годовые суммы осадков (мм) в бассейне оз. Азабачье (по данным гидрометеопоста «Большие Щеки» за 1981–2011 гг.)

Table 2. The monthly and annual precipitations (mm) in the basin of the Azabachye Lake (on the data from the meteorological and hydrological observation station "Bolshiye Scheki" for 1981–2011)

Характеристика года / Year characterization	Месяц / Month												Год Year
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Средний / Mediate (1981–2011)	118	95	87	53	34	42	46	74	66	122	110	97	940
Многоснежный / Snowy (1996)	308	110	207	103	3	41	44	102	56	215	65	119	1372
Засушливый / Arid (2006)	191	14	62	27	30	6	104	11	11	29	42	39	567

ляет 0,56; это означает, что полный обмен вод в бассейне оз. Азабачьего происходит примерно за полтора года. Дважды в год (июнь, октябрь) в озере совершается полная циркуляция водных масс. Высокая динамичность озерных вод обусловлена цилиндрической формой котловины водоема, вытянутой в направлении господствующих над бассейном озера ветров.

Колебания уровня воды в озере обусловлены режимом временных и постоянных водотоков. Подъем воды начинается еще при ледоставе с началом поступления талых вод с водосборной площади и достигает максимума обычно в первой декаде июля (рис. 3), при раннем вскрытии водоема — в третьей декаде июня. В течение июня, по мере поступления в водоем взвешенных минеральных и органических веществ с поверхностным стоком, прозрачность воды убывает: в среднем от 2,5 до 1,5 м.

Спад летнего половодья с интенсивностью 2–3 см в сутки продолжается до конца августа.

В июле–сентябре при оседании и выносе со стоком озерных вод взвешенных частиц органического и неорганического происхождения прозрачность воды в пелагиали водоема возрастает от 3,0 до 4,5 м.

Осенью снижение уровня воды в озере замедляется, в ноябре наступает меженный период, и прозрачность воды достигает 6,0 м. Осадки, выпадающие в осенние месяцы, не образуют дождевых паводков, а приводят лишь к незначительным колебаниям уровня и прозрачности воды (10–30 см) (рис. 3).

Амплитуда сезонных изменений уровня воды в озере за 1981–2017 гг. в среднем составляет 160 см, в многоводные (1981, 1989, 2006, 2009, 2011 и 2017) годы достигает 200 см, в маловодные (1992, 1998, 2003, 2015 и 2016) — 120 см. Аномально высокие значения максимального уровня воды в оз. Азабачьем отмечены в 1996 г. (290 см) и в 2013 г. (260 см) (рис. 4).

В течение безледных периодов 1981–2011 гг. синхронного хода уровенного режима в озере и

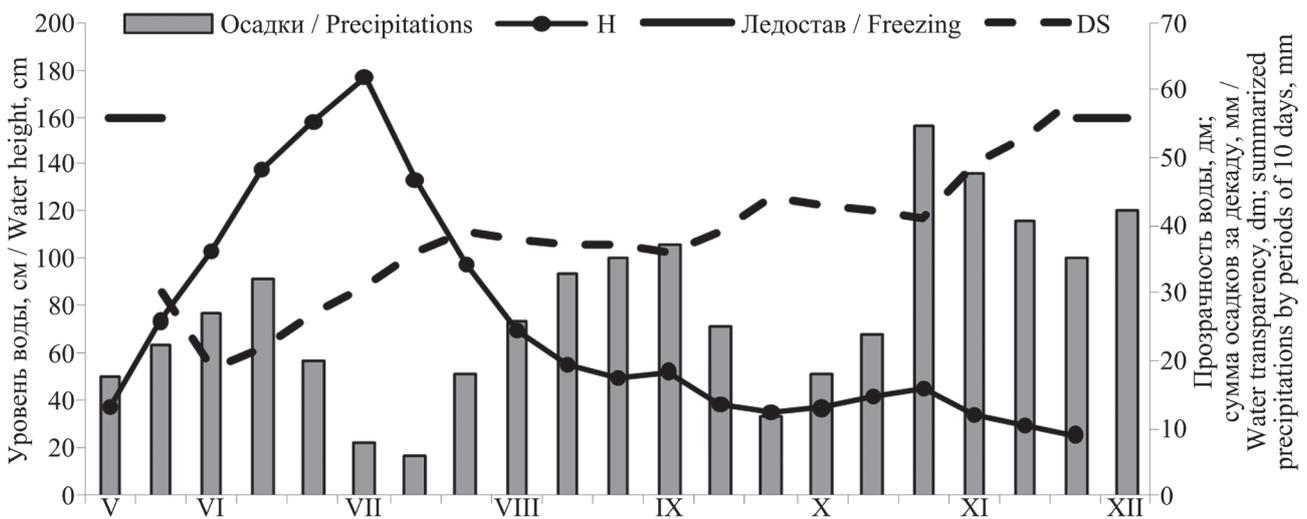


Рис. 3. Сезонные изменения уровня воды (H), прозрачности воды (DS) и декадных сумм осадков, выпавших на бассейн оз. Азабачьего в 2004 г.  
Fig. 3. The seasonal dynamics of the water height (H), transparency (DS) and summarized precipitations by periods of 10 days in the basin of the Azabachye Lake in 2004

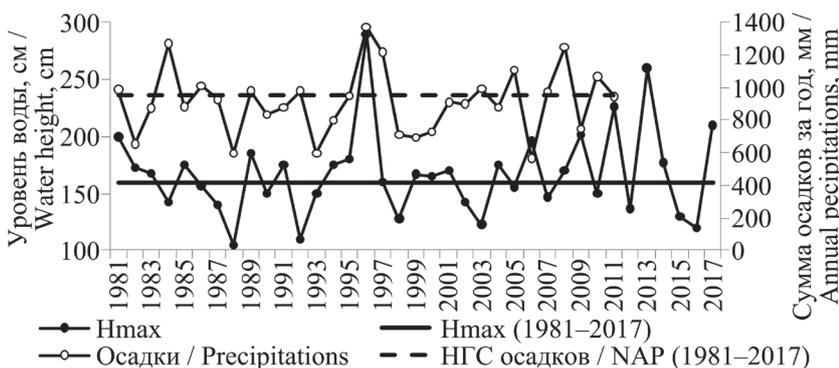


Рис. 4. Многолетние изменения максимальных значений уровня воды (Hmax) и годовых сумм осадков, выпавших на бассейн оз. Азабачьего в 1981–2017 гг.: Hmax (1981–2017) — среднемноголетний показатель, НГС осадков — норма годовой суммы осадков за 1981–2011 гг.  
Fig. 4. The longterm dynamics of the maximal water height (Hmax) and the annual precipitations in the basin of the Azabachye Lake for 1981–2017: Hmax (1981–2017) – the average annual value, NAP – the norm of the annual precipitations for the period 1981–2011

количества осадков, выпавших на бассейн водоема, как в сезонном, так и в многолетнем аспекте не обнаружено. Очевидно, для сточно-проточного оз. Азабачьего, расположенного в умеренной климатической зоне, основной составляющей пиков половодья являются талые воды от снеготалых запасов. О чем свидетельствует достоверная зависимость максимального уровня воды от количества осадков, выпавших на бассейн водоема с ноября предшествующего года по апрель текущего ( $n = 31$ ,  $r = 0,769$ ;  $P > 0,99$ ) (рис. 5).

В третьей декаде октября по завершении полной циркуляции водных масс при температуре воды близкой  $7,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  в пелагиали водоема обычно устанавливается осенняя гомотермия, при которой в течение ноября водная толща озера охлаждается от  $6,0$  до  $3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 6).

При морозной маловетреной погоде поверхность озера полностью покрывается льдом в третьей декаде ноября (табл. 3). В результате незначительной теплоотдачи водных масс в периоды ледообразования в зимние месяцы

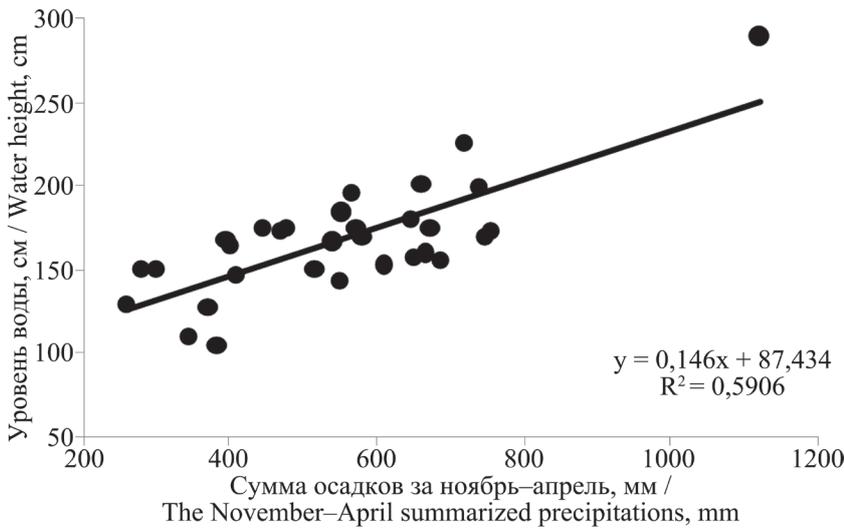


Рис. 5. Взаимосвязь максимального уровня воды в оз. Азабачьем с количеством осадков, выпавших на бассейн водоема за ноябрь-апрель 1981–2011 гг.

Fig. 5. The interaction between the maximal water height in the Azabachye Lake and the November–April precipitations in the basin of the lake for the period 1981–2011

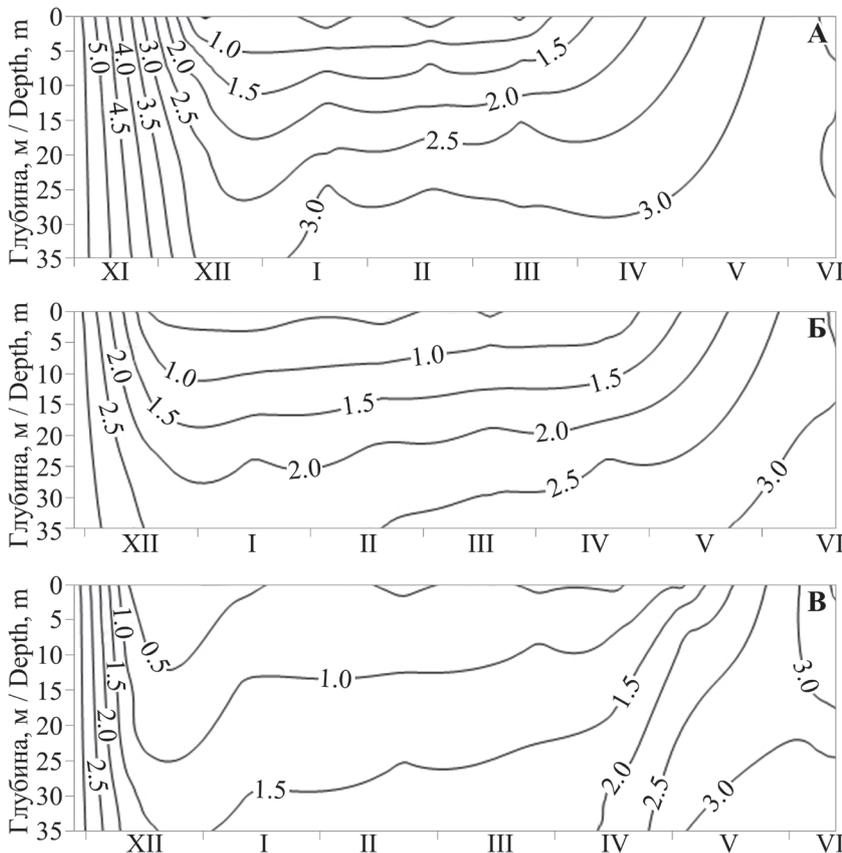


Рис. 6. Вертикальное распределение температуры воды ( $^{\circ}\text{C}$ ) в пелагиали оз. Азабачьего в подледные периоды: А — установление ледостава в ноябре (2008–2009 гг.); Б, В — установление ледостава в декабре (2009–2010, 1992–1993 гг.)

Fig. 6. The vertical distribution of the water temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) in the pelagic zone of the Azabachye Lake in the period of freezing: А – November freezing (2008–2009); Б, В – December freezing (2009–2010, 1992–1993)

(1987, 1995, 2001, 2002, 2007, 2009, 2011, 2014, 2016 и 2017 гг.) изотерма 2,0 °С располагается в слое 5–15 м, изотерма 3,0 °С проходит в гипolimнионе водоема (рис. 6А). В такие годы средняя температура водной толщи водоема за периоды ледоставов превышает среднемноголетнее значение температуры водных масс пелагиали озера за 1981–2017 гг. (1,9 °С), а толщина льда (50–70 см) ниже среднемноголетней величины (90 см).

При сильных штормовых ветрах в предледоставные периоды происходят интенсивные потери тепла водной толщей водоема и замедление процессов ледообразования до середины декабря (1982, 1989, 1992, 1995, 1998, 2004, 2007, 2011 гг.). В таких случаях изотерма 2,0 °С опускается ко дну водоема (рис. 6Б) либо, как и изотерма 3,0 °С, отсутствует (рис. 6В). Наибольшее охлаждение пелагиали озера (0,9 °С) было отмечено в 2011–2012 гг., когда средняя толщина льда превышала 100 см (табл. 3).

Таблица 3. Гидрологический режим оз. Азабачьего в периоды ледостава в 1981–2017 гг.  
Table 3. The hydrological regime of the Azabachye Lake in the period of freezing in 1981–2017

Годы Years	Вскрытие озера Crucking the ice	Установление ледостава Freezing	Продолжительность ледостава, сутки The ice period, days	Толщина льда, см Ice thickness, cm	Высота снега, см Snow height, cm	$T_{XII-IV}$ , °С
1981	06.06	20.11	—	—	—	—
1982	12.06	10.12	204	77	88	2,0
1983	21.06	26.11	193	83	56	1,8
1984	12.06	02.12	198	78	47	2,0
1985	22.06	05.12	202	81	90	1,8
1986	05.06	22.11	183	84	57	1,7
1987	13.06	25.11	203	72	78	2,2
1988	10.06	23.11	197	78	89	2,0
1989	05.06	12.12	194	73	46	2,1
1990	25.05	04.12	164	88	66	1,6
1991	22.06	24.11	200	89	31	1,6
1992	19.06	14.12	207	74	68	2,1
1993	09.06	07.12	177	99	41	1,2
1994	20.06	25.11	195	97	36	1,2
1995	22.06	12.12	209	69	53	2,3
1996	14.06	07.12	184	93	77	1,4
1997	10.06	25.11	185	90	134	1,5
1998	17.06	15.12	215	75	80	2,1
1999	28.06	28.11	195	88	44	1,6
2000	31.05	26.11	184	81	64	1,9
2001	05.06	24.11	191	72	48	2,2
2002	30.05	22.11	187	67	33	2,4
2003	16.06	08.12	206	77	66	2,0
2004	31.05	12.12	174	88	73	1,6
2005	17.06	09.12	187	95	80	1,3
2006	06.06	25.11	179	93	82	1,4
2007	05.06	13.12	192	63	68	2,5
2008	07.06	28.11	176	88	49	1,6
2009	09.06	03.12	193	68	69	2,4
2010	08.06	28.11	187	83	79	1,8
2011	09.06	13.12	193	71	62	2,2
2012	30.05	04.12	168	106	86	0,9
2013	10.06	17.11	188	86	46	1,7
2014	03.06	30.11	198	55	33	2,8
2015	30.05	22.11	181	76	30	2,0
2016	25.05	30.11	184	54	30	2,9
2017	16.06	28.11	198	64	33	2,5
Среднее Mean	13.06	26.11	191	80	62	1,9

Примечание.  $T_{XII-IV}$  — средняя температура водной толщи водоема за ледовый период, XII — декабрь предыдущего года  
Note.  $T_{XII-IV}$  — the average temperature of the pelagial water in the lake for the period of freezing, XII — December of previous year

Минимальные значения температуры водных масс озера обычно наблюдаются в январе, в отдельные годы (1987, 1993, 2006, 2011, 2013, 2017 гг.) — в декабре, изредка в феврале (2002, 2005, 2008 гг.). С прекращением сильных морозов наступает постепенное потепление водной толщи водоема, особенно в придонном слое (рис. 6), чему способствует отдача тепла илом, покрывающим дно профундали озера. К концу апреля в водоеме формируется устойчивая обратная стратификация.

Корреляционным анализом установлено, что в периоды ледостава, при отсутствии взаимодействия водных масс озера с атмосферой и минимальном поверхностном стоке, существенное воздействие на термический режим водоема подо льдом могут оказывать степень выхолаживания водной толщи пелагиали озера в период ледообразования ( $n = 36$ ,  $r = 0,871$ ;  $P > 0,99$ ) и поступление тепла в гипolimнион водоема из донных иловых отложений ( $n = 36$ ,  $r = 0,831$ ;  $P > 0,99$ ). По данным анализа комплексного влияния перечисленных факторов на среднюю температуру водной толщи водоема, за период ледостава множественный коэффициент корреляции составляет 0,935; множественный коэффициент детерминации — 0,873. Это свидетельствует о достаточном количестве выбранных независимых переменных (температу-

ра водных масс озера в декабре и температура воды у дна водоема в течение ледостава) и высоком уровне (87% случаев) их совместного воздействия на многолетние изменения температуры озерных вод подо льдом (рис. 7).

Продолжительность ледостава на оз. Азабачьем в среднем за 1981–2017 гг. составляет 190 дней. Таяние и разрушение ледяного покрова начинается в мае, когда устанавливается положительная температура воздуха. Вскрытие водоема обычно происходит во второй декаде июня. В отдельные годы, вследствие природных аномалий (метеорологические условия, вулканические процессы), возможны сдвиги дат полного разрушения ледяного покрова (табл. 3). Так, наиболее раннему вскрытию озера 25–30 мая в 1990, 2000, 2002, 2004, 2012, 2015 и 2016 гг. способствовало быстрое распаление льда под воздействием пепла, выпавшего на снежный покров бассейна водоема в марте–апреле при извержении вулканов Ключевской группы и Шивелуч. Позднее освобождение озера ото льда 28 июня в 1999 г., вероятно, было вызвано замедленным таянием снега и льда в водоеме из-за значительного охлаждения водной толщи пелагиали в зимние месяцы и невысокой температурой воздуха в мае 1999 г. (3,4 °C).

Через 5–7 дней после разрушения ледяного покрова в пелагиали озера при температуре вод-

$$\text{Var1} = -1,0785 + 0,5486x + 0,6726y - 0,221x^2 + 0,5428xy - 0,3062y^2$$

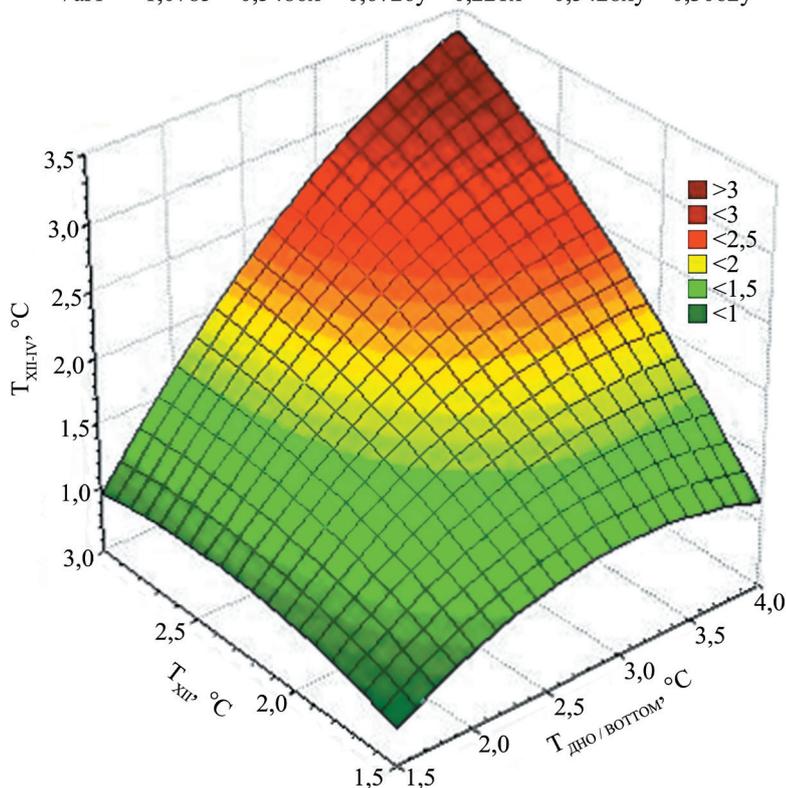


Рис. 7. Взаимосвязь температуры водных масс пелагиали оз. Азабачьего в подледные периоды ( $T_{XII-IV}$ ) с температурой водной толщи озера в период установления ледостава (декабрь) ( $T_{XII}$ ) и с температурой воды у дна водоема ( $T_{дно}$ ) в декабре–апреле 1982–2017 гг.

Fig. 7. The interaction between the water temperature in the pelagic zone of the Azabachye Lake in the period of frozen lake ( $T_{XII-IV}$ ) and the water temperature in the period of freezing (December) ( $T_{XII}$ ) and near the bottom temperature ( $T_{bottom}$ ) in December–April 1982–2017

ных масс близкой 4,0 °С наступает короткий период весенней гомотермии (рис. 8, 9).

В июне–августе, по мере прогрева поверхностного слоя водоема, в толще пелагиали происходит развитие прямой температурной стратификации. В июле–августе при наивысшей температуре воздуха температура воды на поверхности озера достигает максимальных значений — в среднем, 16,0 °С; в холодные 1992 и 1999 гг. — 14,0 °С, в теплые (1981, 2006, 2009, 2010, 2014, 2016 и 2017 гг.) — 20,0 °С (рис. 8, 9). В этот период придонные слои водоема прогреваются от 4,0 до 5,0–8,0 °С. Наибольший перенос тепла с поверхности

в глубь озера совершается в холодные годы (рис. 9Б).

Последующее снижение температуры воздуха приводит к расслоению водной толщи водоема на три термические зоны. В случае маловетренной погоды во второй половине лета прямая температурная стратификация имеет устойчивый характер (рис. 9А, 9В), При сильной циклонической деятельности мощность эпилимниона изменяется, и процесс температурного расслоения в водоеме нарушается (рис. 9Б).

В сентябре, по завершении развития прямой стратификации, температура водной толщи пе-

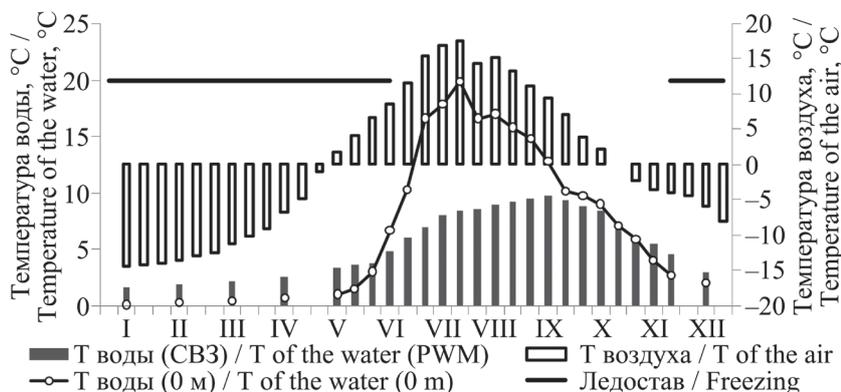


Рис. 8. Сезонные изменения температуры воды в пелагиали (СВЗ) и поверхностных вод (0 м) оз. Азабачьего и средней температуры воздуха над бассейном водоема в 2010 г.; СВЗ — средневзвешенное значение  
Fig. 8. The seasonal dynamics of the pelagic water temperature (PWM) and surface water temperature (0 m) in the Azabachye Lake, and the average air temperature over the basin of the lake in 2010; WM – the weighted mean

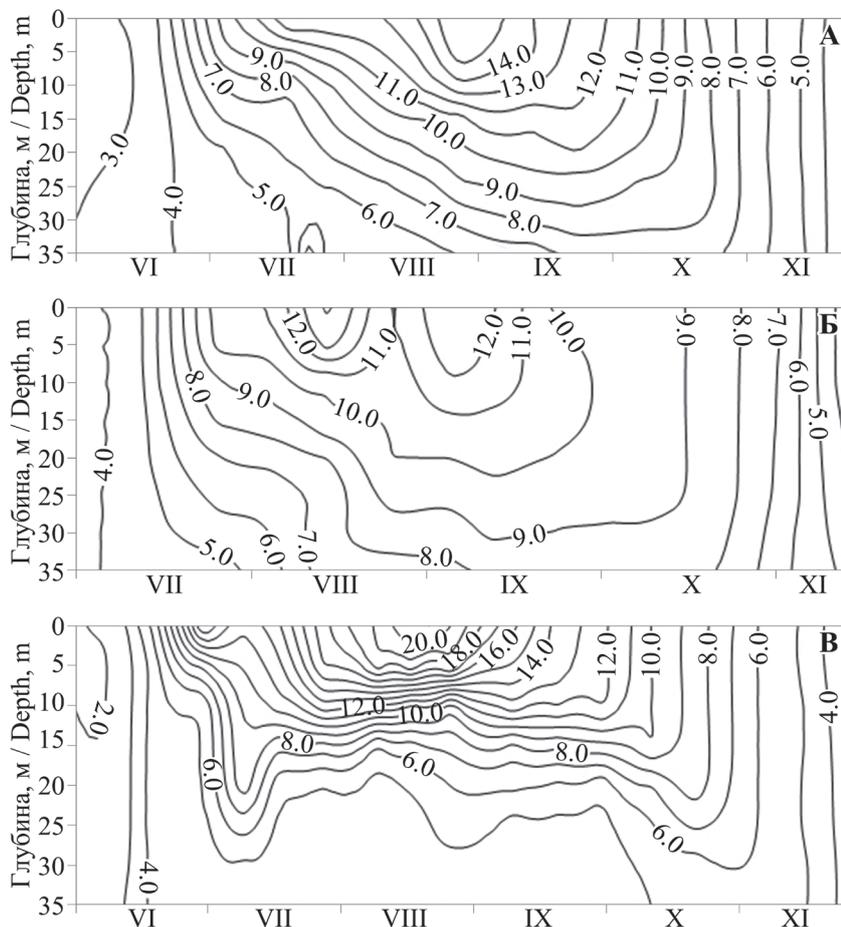


Рис. 9. Вертикальное распределение температуры воды (°С) в пелагиали оз. Азабачьего в летне-осенние месяцы: А — средний прогрев водной толщи пелагиали озера при устойчивой прямой температурной стратификации (1996 г.), Б — неустойчивый процесс развития прямой температурной стратификации в холодные годы (1999 г.), В — устойчивое расслоение водных масс в теплые годы (2006 г.)  
Fig. 9. The vertical distribution of the water temperature (°C) in the pelagic zone of the Azabachye Lake in summer months: А – the average warming of the pelagic water of the lake at a stable direct temperature stratification (1996), Б – the unstable process of the development of direct temperature stratification in cold years (1999), В – the stable stratification of the water masses in warm years (2006)

лагиали озера достигает максимальных значений (8,5–10,5 °С). В позднюю фазу летней стагнации температурные градиенты в эпилимнионе составляют 0,07 °/м, в металимнионе — 0,40 °/м, в гиполимнионе не превышают 0,05 °/м. При средней температуре эпилимниона более 10,0 °С его мощность не превышает 10 м (рис. 9А, 9В). В годы слабого прогресса эпилимниона (менее 10,0 °С) глубина его погружения возрастает до 15 м (рис. 9Б).

В течение октября при снижении температуры воздуха до 0 °С мощность термоклина резко убывает, что создает условия для водообмена между эпилимнионом и гиполимнионом. В результате полного перемешивания водных масс озера в пелагиали водоема наступает осенняя гомотермия (рис. 8, 9), а во второй половине ноября устанавливается ледостав.

В декабре–мае при температуре водных масс пелагиали озера менее 4,0 °С, отсутствии освещенности подо льдом и сокращении продолжительности светового дня темпы метаморфоза, питания и размножения гидробионтов замедляются. По мере разрушения ледового покрова на-

чинается вегетация планктонных водорослей, веслоногие ракообразные выходят из состояния диапаузы, из покоящихся (зимних) яиц появляется молодь ветвистоусых рачков и теплолюбивых видов коловраток. За пиком вегетации диатомового фитопланктона в начале лета следуют генеративные периоды в популяциях планктонных ракообразных, возрастает интенсивность питания рыб-планктонофагов (Базаркина, 2004а).

Среднемноголетняя величина температуры воды пелагиали оз. Азабачьего за летне-осенние месяцы 1981–2017 гг. составляет 7,2 °С. Сходные тенденции динамики температуры водной толщи озера за безледные периоды и температуры воздуха в бассейне водоема летом и осенью 1981–2011 гг. (рис. 10) указывают на существенное значение атмосферных процессов в формировании термического режима в озере.

Наиболее холодными водные массы водоема (6,4–6,6 °С) были в 1983–1985 и 1995 гг., когда средняя температура воздуха за июнь–ноябрь (6,2–6,7 °С) была ниже среднемноголетнего показателя температуры воздуха за 1981–2011 гг. (7,9 °С). Максимальный прогрев пелагиали (7,7–

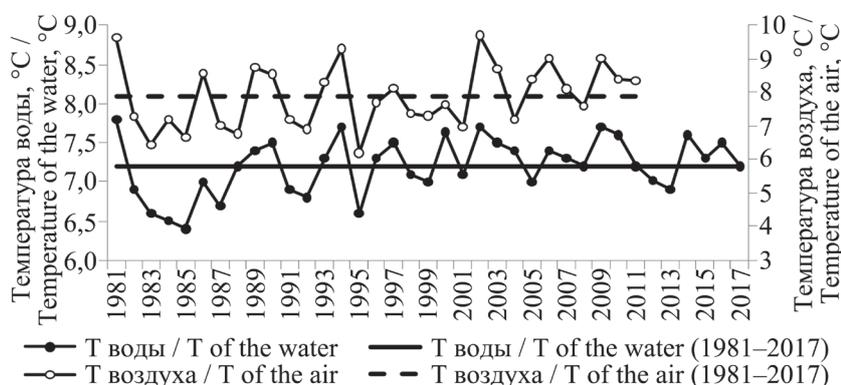


Рис. 10. Многолетние изменения средней температуры водной толщи пелагиали оз. Азабачьего в летне-осенние месяцы 1981–2017 гг. и средней температуры воздуха в бассейне водоема в июне–ноябре 1981–2011 гг.: Т воды (1981–2017), Т воздуха (1981–2011) — среднемноголетние показатели  
Fig. 10. The longterm dynamics of the average temperature of the pelagic water in the Azabachye Lake in summer–autumn months in 1981–2017 and the average air temperature in the basin of the lake in June–November in 1981–2011: T of the water (1981–2017), T of the air (1981–2011) – the longterm average indices

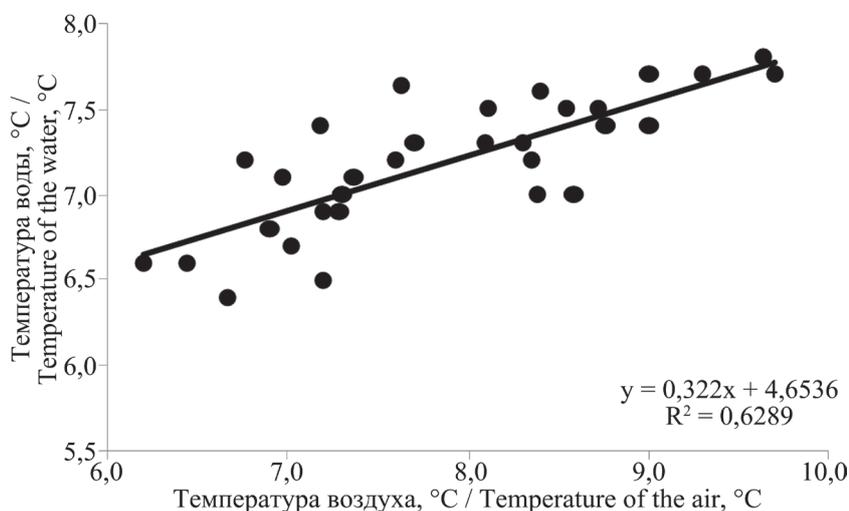


Рис. 11. Зависимость температуры водных масс пелагиали озера от температуры воздуха в бассейне водоема в летне-осенние месяцы 1981–2011 гг.  
Fig. 11. The correlation between the temperature of the pelagic water of the lake and the air temperature in the basin of the lake in summer–autumn months in 1981–2011

7,8 °С) наблюдали в 1981, 1994, 2002 и 2009 гг. при средней летне-осенней температуре воздуха 9,0–9,7 °С. Следует полагать, что значительные колебания температуры водной толщи озера в летне-осенние месяцы 1981–2011 гг. обусловлены многолетними изменениями температуры воздуха в бассейне водоема ( $n = 31$ ,  $r = 0,793$ ;  $P > 0,99$ ) (рис. 11).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Озеро Азабачье относится к димиктическим сточно-проточным водоемам с полным водообменом озерных вод в течение 18–20 месяцев. Высокая динамичность озерных вод обусловлена цилиндрической формой котловины водоема, вытянутой в направлении господствующих над бассейном озера ветров.

Продолжительные подледные периоды (в среднем, полгода) обусловлены суровостью метеорологических условий в бассейне водоема в зимние месяцы. Существенное воздействие на термический режим озера подо льдом оказывают степень выхолаживания водной толщи пелагиали в период ледообразования и поступление тепла в гипolimнион водоема из донных отложений.

Разрушение ледяного покрова начинается в мае, когда устанавливается положительная температура воздуха. Вскрытие озера обычно происходит во второй декаде июня. Раннему освобождению водоема ото льда (конец мая – начало июня) способствуют пеплопады на бассейн озера при извержении вулканов Ключевской группы и Шивелуч. Высоту пиков половодья в начале июля определяют снегозапасы, образованные выпавшими на водосбор озера осадками с ноября предшествующего года по апрель текущего года. Температура водных масс пелагиали озера в период активного развития гидробионтов (июнь–ноябрь) находится в прямой зависимости от температуры воздуха в бассейне водоема в летне-осенние месяцы.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Базаркин В.Н. 1990. Особенности гидрологического режима различных типов нерестилищ нерки *Oncorhynchus nerka* // *Вопр. ихтиологии*. Т. 30, вып. 3. С. 463–468.

Базаркина Л.А. 1993. Диапауза циклопов (*Cyclops scutifer*) озера Азабачье // *Зоологич. журнал*. Т. 72, вып. 11. С. 22–28.

Базаркина Л.А. 2002. К проблеме повышения кормовых ресурсов молоди нерки в озере Азабачье // *Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана: Сб. науч. тр. КамчатНИРО*. Вып. 6. С. 251–259.

Базаркина Л.А. 2004а. Механизмы регуляции численности в популяциях планктонных ракообразных мезотрофного лососевого озера Азабачье (Камчатка). Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М.: МГУ. 21 с.

Базаркина Л.А. 2004б. Сезонные и суточные вертикальные миграции планктонных ракообразных в пелагиали озера Азабачье // *Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана: Сб. науч. тр. КамчатНИРО*. Вып. 7. С. 103–110.

Базаркина Л.А., Бугаев В.Ф., Николаев А.С. 2006. Сезонные изменения пространственной структуры планктонных ракообразных в пелагиали озера Азабачье // *Исслед. водн. биол. ресурсов Камчатки и сев.-зап. части Тихого океана: Сб. науч. тр. КамчатНИРО*. Вып. 8. С. 150–157.

Белоусова С.П. 1972. Зоопланктон пелагиали озера Азабачьего (Камчатка) и его значение в питании молоди красной *Oncorhynchus nerka* (Walb.) Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток: ДВГУ. 19 с.

Бугаев В.Ф. 2011. Азиатская нерка-2 (биологическая структура и динамика численности локальных стад нерки в конце XX – начале XXI вв.). Петропавловск-Камчатский: Камчатпресс. 380 с.

Григорьев С.В. 1958. О некоторых определениях и показателях в озероведении // *Материалы по гидрологии (лимнологии) Карелии*. Тр. Карел. фил. АН СССР. Вып. XVIII. С. 29–45.

Державин А.Н. 1916. Работы в Ключевском и экспедиция на Чажму // *Камчатская экспедиция Рябушинского*. Зоологич. отдел. Вып. I. С. 279–308.

Кондратьев В.И. 1974. Климат Камчатки. М.: Гидрометеиздат. 204 с.

Крашенинников С.П. 1994. Описание земли Камчатки. Репринтизд. 1755 г. СПб.: Наука; Петропавловск-Камчатский: Камшат. Т. 1. С. 10–11.

Крохин Е.М. 1972. Озеро Азабачье (физико-географический очерк) // *Изв. Тихоокеан. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии*. Т. 84. С. 3–17.

Куренков И.И. 1972. Гидробиологическая характеристика озера Азабачьего по материалам 1949–1963 гг. // *Изв. Тихоокеан. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии*. Т. 82. С. 33–49.

- Лебедев В.Н. 1911. Предварительный отчет обследования вод Камчатки в 1908–1909 гг. // Изв. Географического общества. Т. XI–XII, вып. 1–5. С. 27–82.
- Лебедев В.Н. 1916. Дневник гидрологических работ на Камчатке в 1908–1909 гг. // Камчатская экспедиция Рябушинского. Зоолог. отдел. Вып. I. С. 344–432.
- Леванидова И.М., Леванидов В.Я. 1972. Бентос озера Азабачьего // Изв. Тихоокеан. НИИ рыб. хоз-ва и океанографии. Т. 82. С. 51–92.
- Николаев А.С., Николаева Е.Т. 1991. Некоторые аспекты лимнологической классификации нерковых озер Камчатки // Исслед. биологии и динамики численности промысловых рыб камчатского шельфа. Сб. науч. тр. КамчатНИРО. Вып. I, ч. 1. С. 3–17.
- Паренский В.А. 1992. Этология нереста нерки *Oncorhynchus nerka* (Walbaum). Владивосток: Дальнаука. 113 с.
- Ресурсы поверхностных вод СССР (Камчатка). 1973. Л.: Гидрометеиздат. Т. 20. С. 33–42.
- REFERENCES
- Bazarkin V.N. Features of the hydrological regime of various types of sockeye *Oncorhynchus nerka* spawning grounds. *Journal of Ichthyology*, 1990, vol. 30, issue 3, pp. 463–468. (In Russian)
- Bazarkina L.A. The diapause of *Cyclops scutifer* in the Lake Azabachiye. *Zoologicheskii Zhurnal*, 1993, vol. 72, issue 11, pp. 22–28. (In Russian)
- Bazarkina L.A. To the problem of juvenile sockeye salmon forage resource enhancement in Azabachye Lake. *The researchers of the aquatic biological resources of Kamchatka and of the north-west part of the Pacific Ocean*, 2002, vol. 6, pp. 251–259. (In Russian)
- Bazarkina L.A. *Mekhanizmy regulyatsii chislennosti v populyatsiyakh planktonnykh rakoobraznykh mezotrofnogo lososevogo ozera. Avtoref. dis. kand. biol. nauk* [Mechanisms of regulation of abundance in populations of planktonic crustaceans of mesotrophic salmon Azabachye Lake (Kamchatka). Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation]. Moscow: MSU, 2004, 21 p.
- Bazarkina L.A. Vertical seasonal and diurnal migration of plankton crustaceans in the pelagic zone of Azabachye Lake. *The researchers of the aquatic biological resources of Kamchatka and of the north-west part of the Pacific Ocean*, 2004, vol. 7, pp. 103–110. (In Russian)
- Bazarkina L.A., Bugaev V.F., Nikolaev A.S. Seasonal transformations of spatial structure of plankton crustaceans in the pelagic zone of the Azabachye Lake. *The researchers of the aquatic biological resources of Kamchatka and of the north-west part of the Pacific Ocean*, 2006, vol. 8, pp. 150–157.
- Belousova S.P. *Zooplankton pelagiali ozera Azabachiego (Kamchatka) i ego znachenije v pitanii molodi krasnoy Oncorhynchus nerka (Walb.). Avtoref. dis. kand. biol. nauk* [Zooplankton pelagial of Lake Azabachsky (Kamchatka) and its importance in the nutrition of juvenile red *Oncorhynchus nerka* (Walb.). Extended Abstract of Cand. Sci. (Biol.) Dissertation]. Vladivostok: DVGU, 1972, 19 p.
- Bugaev V.F. *Aziatskaya nerka-2 (biologicheskaya struktura i dinamika chislennosti lokal'nykh stad v kontse XX – nachale XXI vv.)* [Asian sockeye salmon-2 (biological structure and abundance dynamics of local stocks in the late XX – early XXI century)]. Petropavlovsk-Kamchatskiy: Kamchatpress, 2011, 380 p.
- Grigoriev S.V. On some definitions and indicators in lake science. *Materials on the hydrology (limnology) of Karelia, Tr. Karel. fil. AN SSSR*, 1958, vol. XVIII, pp. 29–45. (In Russian)
- Derzhavin A.N. Works in Klyuchvskoe and Chazhma Expedition. *Kamchatskaya ekspeditsiya Ryabushinskogo* [Kamchatka Expedition of Ryabushinskii]. Moscow, 1916, issue I, pp. 279–308.
- Kondratyuk V.I. *Klimat Kamchatki* [Climate of Kamchatka]. Moscow: Gidrometeoizdat, 1974, 204 p.
- Krashenninnikov S.P. *Opisanie zemli Kamchatki* [Description of Kamchatka Land]. Reprint edition: St. Petersburg, 1755, Petropavlovsk-Kamchatskiy: Kamshat, 1994, vol. 1, pp. 10–11.
- Krokhin E.M. Lake Azabachye (Physiographic description). *Izvestiya TINRO*, 1972, vol. 84, pp. 3–17. (In Russian)
- Kurenkov I.I. Hydrobiological characterization of Lake Azabachye based on the materials of 1949–1963. *Izvestiya TINRO*, 1972, vol. 82, pp. 33–49. (In Russian)
- Lebedev V.N. Preliminary Report on Surveying Kamchatka Water in 1908–1909. *Proceedings of the Russian Geographical Society*, 1911, vol. XI–XII, issue 1–5, pp. 27–82. (In Russian)
- Lebedev V.N., *Journal of 1908–1909 Hydrological Studies in Kamchatka. Kamchatskaya ekspeditsiya Ryabushinskogo* [Kamchatka Expedition of Ryabushinskii], Moscow, 1916, issue I, pp. 344–432. (In Russian)

Levanidova I.M., Levanidov V.Y. Benthos of Lake Azabachye. *Izvestiya TINRO*, 1972, vol. 82, pp. 51–92. (In Russian)

Nikolaev A.S., Nikolaeva E.T. Some aspects of limnological classification of sockeye salmon lakes of Kamchatka. *The researchers of the aquatic biological resources of Kamchatka and of the north-west part of the Pacific Ocean*, 1991, vol. 1, part 1, pp. 3–17. (In Russian)

Parenskiy V.A. *Etologiya neresta nerki Oncorhynchus nerka (Walbaum)* [Ethology spawning sockeye *Oncorhynchus nerka* (Walbaum)]. Vladivostok: Dalnauka, 1992, 113 p.

*Resursy Poverkhnostnykh vod SSSR* [(USSR Surface Water Resources)]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1973, vol. 20, pp. 33–42.

Статья поступила в редакцию 01.09.2018

Статья принята после рецензии 31.10.2018