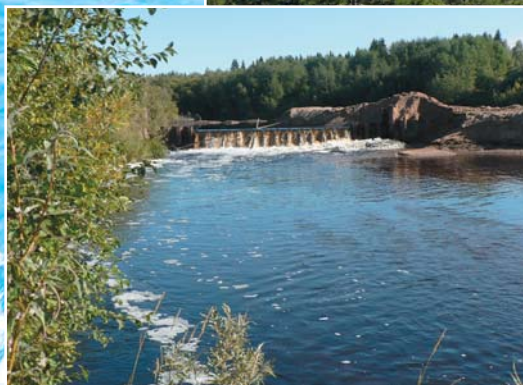


***ВОДНЫЕ РЕСУРСЫ  
ВОДНЫЕ ОБЪЕКТЫ***



## ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ ОЗЕР ЗАБАЙКАЛЬЯ В УСЛОВИЯХ МЕНЯЮЩЕГОСЯ КЛИМАТА (НА ПРИМЕРЕ ИВАНО-АРАХЛЕЙСКИХ ОЗЕР)

© 2011 г. В.А. Обязов

*Забайкальское межрегиональное территориальное управление Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, г. Чита*

**Ключевые слова:** изменения климата, температура воздуха, атмосферные осадки, термический режим озер, ледовый режим озер, водный режим озер.



Рассматриваются многолетние изменения температуры воздуха и атмосферных осадков в Забайкалье и их влияние на гидрологический режим Ивано-Арахлейских озер. Изменения климата обусловили повышение температуры воды озер, уменьшение толщины льда и продолжительности ледостава. Колебания уровня воды имеют циклический характер и зависят от многолетних изменений атмосферных осадков.

### Введение

В последние десятилетия произошли существенные изменения климата, выразившиеся, в основном, в повышении температуры приземного воздуха. Эти изменения проявляются как в глобальном масштабе [1], так и на региональном уровне [2]. Они не могут не оказывать влияние на режим водных объектов. В связи с этим представляется важным выявить, каким образом проявились изменения климата в гидрологическом режиме озер. В качестве объекта исследования выбраны Ивано-Арахлейские озера, входящие в состав одноименного заказника, расположенные в Центральном Забайкалье и активно используемые для отдыха жителями г. Читы и Забайкальского края. Кроме рекреационных целей озера имеют большое значение для рыбозаповедения и рыбной ловли.

В основу исследования положены материалы стандартных гидрометеорологических наблюдений на стационарной наблюдательной сети

Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Анализ выполнялся по данным о средних месячных температурах воздуха и воды, месячных суммах атмосферных осадков, значениях толщины льда, датах начала и окончания ледовых явлений.

В работе использованы методы статистического анализа. Тренды вычислялись методом наименьших квадратов, их статистическая значимость оценивалась по критерию Стьюдента. Цикличность в рядах метеорологических показателей выявлялась путем построения интегральных разностных кривых.

### Изменения температуры воздуха

Характерной чертой многолетних изменений климата в районе Ивано-Арахлейских озер, как и на всей территории Забайкалья, является тенденция потепления, отмечающаяся во второй половине и начале XXI в. За полувековой период повышение температуры воздуха составило 1,9 °С (рис. 1), что равно среднему значению роста температуры в Забайкальском крае [3]. Достоверность линейного тренда подтверждается при 5 % уровне значимости.

В течение 50-летнего периода наблюдений средняя годовая температура изменялась от -1,1 до -4,8 °С. Но если в период 1960—1985 гг. ее

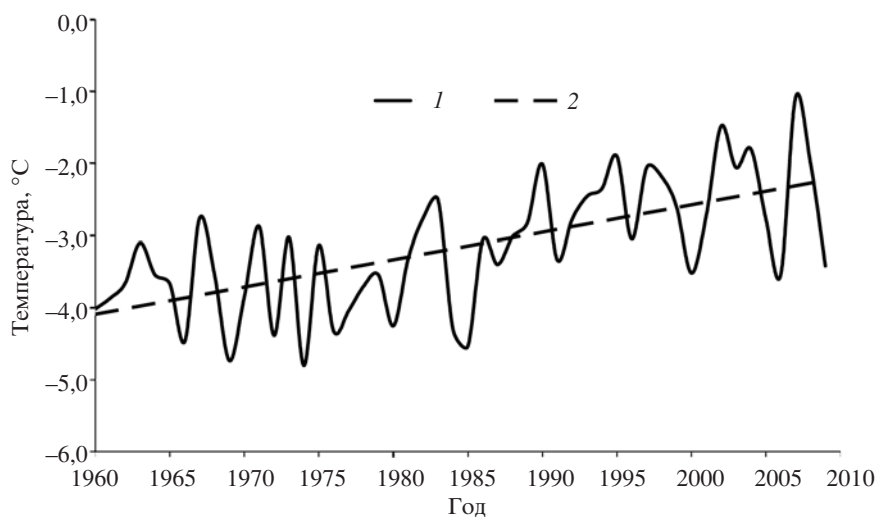


Рис. 1. Многолетние изменения средней годовой температуры воздуха в районе Ивано-Арахлейских озер, метеостанция Беклемишево:  
1 — исходный ряд; 2 — линейный тренд.

колебания происходили в пределах от  $-2,5$  до  $-4,8$  °С, то в 1986—2009 гг. уже в более высоких пределах от  $-1,1$  до  $-3,8$  °С.

Величины многолетних изменений температуры воздуха, вычисленных для каждого месяца, отличаются друг от друга. Наибольшее потепление приходится на февраль: за 50 лет средняя месячная температура февраля повысилась на  $3,6$  °С. Несколько меньший рост температуры отмечается в марте и апреле. Наименьшее увеличение температуры произошло в январе и декабре и составило  $0,6$  °С. В эти два месяца, а также в ноябре эмпирические значения статистики Стьюдента меньше ее табличных значений при  $5\%$  уровне значимости. В остальные месяцы тренд статистически достоверен.

Анализ рядов температуры воздуха отдельно в теплый (май-сентябрь) и холодный (октябрь-апрель) периоды года показал, что в оба периода отмечается потепление. Однако его темпы несколько отличаются: средняя температура холодного периода повысилась на  $2,2$  °С, а теплого —  $1,8$  °С. Имеются и другие отличия, например, в последнее десятилетие в теплое время года температуры воздуха ежегодно превышают среднее многолетнее значение. В этот же период отмечены пять лет, в которые зафиксирована самая высокая температура воздуха за весь период наблюдений. Несмотря на то, что средняя температура холодного периода года в последнее десятилетие также достаточно высока, тем не менее, темпы ее повышения замедлились.

Абсолютная минимальная температура за 50-летний период изменялась в пределах от  $-33,9$  до  $-51,1$  °С и повысилась на  $2,8$  °С. Абсолютная максимальная температура также возросла, но на меньшую величину ( $1,4$  °С). Ее изменения происходили от  $27,7$  до  $36,4$  °С. Неравномерное повышение максимальных и минимальных температур воздуха привели к уменьшению абсолютной годовой амплитуды температуры на  $1,4$  °С. С 1960 по 2009 гг. она изменялась в пределах от  $62,1$  до  $82,1$  °С.

### **Изменения атмосферных осадков**

По данным за последние 59 лет установлено, что в районе Ивано-Арахлейских озер атмосферных осадков выпадает от  $149,8$  до  $551,4$  мм в год при среднем значении  $308,6$  мм. Более половины их приходится на июль и август ( $53,9\%$ ), а в целом за летний сезон в среднем выпадает  $69,2\%$  годовой суммы осадков (табл. 1). Наиболее сухим сезоном является зима, на ее долю приходится всего  $3,1\%$ . Осенью и весной выпадает, соответственно,  $17,4$  и  $10,4\%$  годовой суммы осадков.

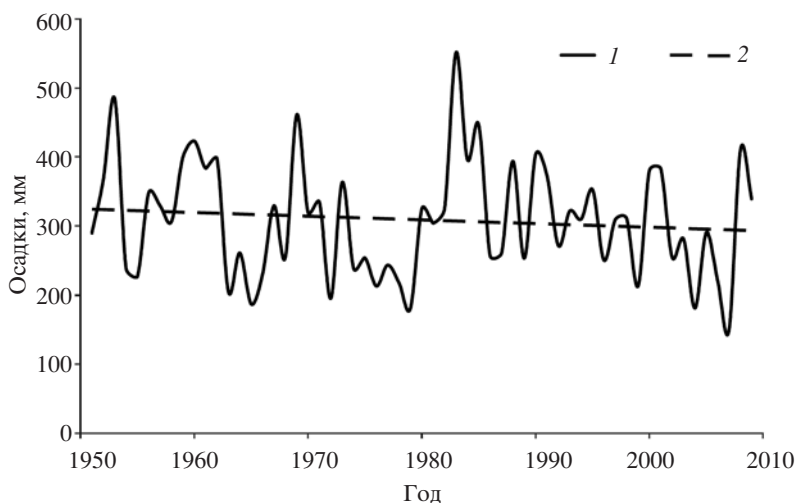
В многолетних изменениях годовых сумм атмосферных осадков выявляется тенденция их уменьшения (рис. 2). За период с 1951 по 2009 гг.

**Таблица 1.** Внутригодовое распределение атмосферных осадков в районе Ивано-Арахлейских озер (по данным метеостанции Беклемишево)

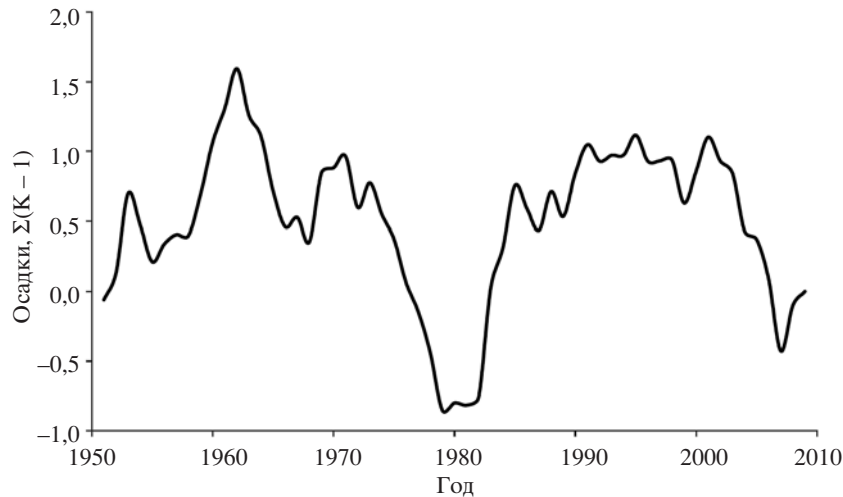
Ед. измерения	Период наблюдений												год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
мм	2,5	2,6	4,4	10,5	17,2	47,0	84,5	81,9	38,5	9,3	5,9	4,3	308,6
% к годовой сумме	0,8	0,9	1,4	3,4	5,6	15,2	27,4	26,5	12,5	3,0	1,9	1,4	100,0

их количество уменьшилось на 30 мм или примерно на 10 %. Однако статистическая оценка при 5 % уровне значимости показала недостоверность линейного тренда.

Кроме однонаправленных тенденций в многолетних изменениях атмосферных осадков в районе Ивано-Арахлейских озер проявляется цикличность. По интегральной разностной кривой (рис. 3) можно определить фазы пониженной (осадки ниже нормы) и повышенной (осадки выше нормы) увлажненности. С 1951 по 1962 гг. отмечается относительно влажная фаза, которая сменилась относительно сухой фазой, длившейся до 1982 г. Длительность следующих фаз определить сложнее, так как их граница «размыта». Наиболее вероятным годом завершения влажной



**Рис. 2.** Многолетние изменения годовых сумм атмосферных осадков в районе Ивано-Арахлейских озер, метеостанция Беклемишево:  
1 — исходный ряд; 2 — линейный тренд.



**Рис. 3.** Интегральная разностная кривая годовых сумм атмосферных осадков, метеостанция Беклемишево.

фазы, начавшейся в 1983 г., можно считать 1995 г. О продолжительности следующей фазы пониженной увлажненности также можно судить лишь приблизительно. Учитывая, что в 2008 и 2009 гг., были зарегистрированы осадки, превышавшие норму, можно предположить, что относительная сухая фаза продолжалась до 2007 г.

### **Влияние изменений климата на гидрологический режим озер**

Реакция озер на изменения климата во многом зависит от их морфометрических характеристик, которые существенно отличаются у различных озер Ивано-Арахлейской группы (табл. 2) [4]. Наибольшую площадь водной поверхности, глубину и объем имеет оз. Арахлей. Другие озера значительно уступают ему по этим показателям за исключением оз. Шакшинского, имеющего сравнимую площадь, но уступающему более чем в два раза по средней глубине и почти втрое по объему.

Оценку влияния изменений климата, выражающихся, в основном, в повышении приземной температуры, на гидрологический режим Ивано-Арахлейских озер следует начать, в первую очередь, с анализа термического и ледового режимов.

Характерной особенностью Ивано-Арахлейских озер является подледное начало весеннего нагревания воды. В отдельные годы, когда на льду отсутствует снежный покров, повышение температуры отмечается в январе-феврале [5, 6].

**Таблица 2.** Морфометрические характеристики Ивано-Арахлейских озер

Морфометрические характеристики	Название озера					
	Арахлей	Шакшинское	Иван	Тасей	Иргень	Большой Ундугун
Площадь водной поверхности $f$ , км <sup>2</sup>	59,0	51,8	15,2	14,5	33,2	11,6
Объем водной массы $V$ , км <sup>3</sup>	0,60	0,23	0,05	0,045	0,06	0,026
Максимальная глубина $h_{\text{макс}}$ , м	17,0	6,9	5,6	3,8	3,0	5,7
Средняя глубина $h_{\text{ср}}$ , м	10,2	4,4	3,1	3,1	1,8	2,2
Площадь водосбора $F$ , км <sup>2</sup>	256	420	131	291	188	216
Удельный водосбор $K_{\text{уд}} = F/f$	4,3	8,1	8,6	20,1	5,7	18,6

Темпы нагревания и охлаждения воды зависят, в основном, от объема воды. В меньшем по объему оз. Шакшинское переходы температуры через 4 и 10 °С осуществляются раньше, чем в глубоководном оз. Арахлей. Наибольших значений температура воды достигает, как правило, в июле. И здесь также сказывается различие объемов воды: средняя месячная температура в июле в Шакшинском на 1,4 °С выше, чем в Арахлее и составляет, соответственно, 19,4 и 18,0 °С. Озеро Арахлей медленнее остывает.

В многолетних изменениях температуры воды озер, так же как и в изменениях температуры воздуха, выявляется ее повышение. Средняя температура июня-сентября за полувековой период увеличилась на 1,2 и 0,7 °С на оз. Арахлей и Шакшинском, соответственно. Изменились также даты перехода температуры воды через 4 и 10 °С. Переход температуры весной через 4 °С стал осуществляться раньше на 1 день на оз. Арахлей и на 17 дней на оз. Шакшинское. Осенью на оз. Шакшинское дата перехода через 4 °С сместилась на более поздние сроки, а на оз. Арахлей, наоборот, — на более ранние (табл. 3). В результате период с температурами выше 4 °С на Шакшинском увеличился на 22 дня, а на Арахлее уменьшился на 3 дня.

Продолжительность периода с температурами воды выше 10 °С на Арахлее увеличилась на 7 дней за счет более раннего перехода температуры через данный предел весной и более позднего — осенью. На Шакшинском этот период также увеличился на 8 дней за счет более раннего перехода через 10 °С весной и осенью. На Шакшинском этот период также увеличился на 8 дней, но только за счет более раннего перехода через 10 °С весной, а осенью этот переход стал осуществляться раньше.

Первые ледовые явления в виде заберег появляются на озерах обычно в октябре, при этом на Шакшинском это происходит раньше, чем на Арахлее. На Арахлее позднее устанавливается и ледостав.

**Таблица 3.** Даты перехода температуры воды озер через 4 и 10 °С в начале XXI в. и их изменения за период наблюдений, дни

Название озера	Переход через 4 °С		Переход через 10 °С	
	весной	осенью	весной	осенью
Арахлей	30 мая (-1)	17 октября (-4)	18 июня (-3)	1 октября (+2)
Шакшинское	18 мая (-17)	14 октября (+5)	4 июня (-10)	20 сентября (-2)

В начальный период ледостава интенсивность прироста льда нередко превышает 2 см/сут. В дальнейшем происходит ее снижение, и к концу февраля интенсивность прироста уменьшается до 1,0—1,1 см/сут. Нарастание льда продолжается до конца марта — начала апреля с меньшей интенсивностью (0,3—0,4 см/сут). Максимальная толщина льда за период наблюдений достигала на Шакшинском 196 см, на Арахлее — 174 см. В апреле начинается таяние льда и к концу месяца его толщина уменьшается на 20—25 см. Во второй половине апреля — первой половине мая начинается разрушение ледяного покрова [4].

Более раннее начало ледовых явлений на оз. Шакшинское обуславливает большую продолжительность ледостава, составляющую от 194 до 226 дней, а на Арахлее — в среднем на 9 дней меньше. Период, когда водная поверхность свободна ото льда, составляет 117—165 дней (меньше периода ледостава).

Изменения температуры воздуха и воды отразились на ледовом режиме озер. Сроки начала и окончания ледовых явлений, установившиеся в начале XXI в., приведены в табл. 4. Если продолжительность ледо-

**Таблица 4.** Сроки начала и окончания ледовых явлений на озерах в начале XXI в. и их изменения за период наблюдений (дни)

Название озера	Срок начала			Срок окончания	
	ледовых явлений	ледостава	разрушения ледяного покрова	ледостава	ледовых явлений
Арахлей	21 октября (-8)	3 ноября (0)	30 апреля (-7)	22 мая (+3)	29 мая (-11)
Шакшинское	18 октября (+8)	24 октября (+4)	27 апреля (-5)	18 мая (-3)	27 мая (-4)



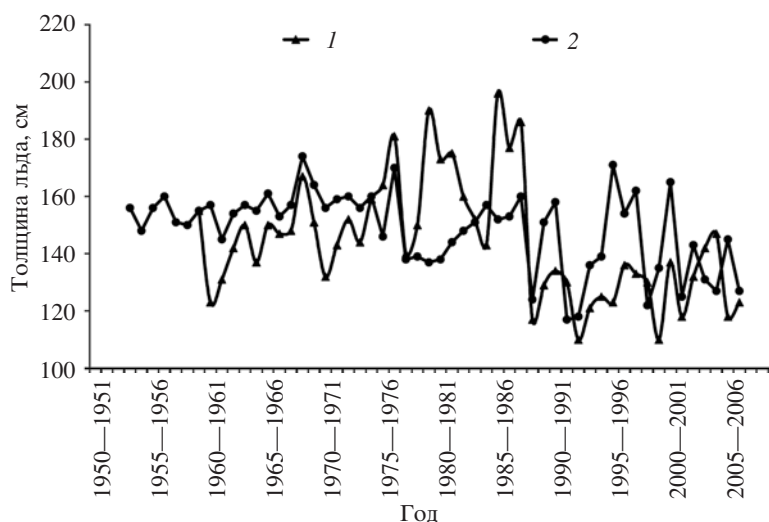


Рис. 4. Многолетние изменения наибольшей за год толщины льда озер Шакшинское (1) и Арахлей (2).

вых явлений уменьшилась на обоих озерах (на 3 дня на Арахлее и 11 дней на Шакшинском), то продолжительность ледостава на оз. Шакшинское также уменьшилась на 7 дней, а на Арахлее, наоборот, увеличилась на 3 дня. Знаки изменений сроков начала разрушения ледяного покрова и окончания ледовых явлений на обоих озерах совпадают, а сроков начала ледовых явлений и окончания ледостава противоположны. Эти отличия, так же как и отличия в термическом режиме водоемов, вероятно, обусловлены различием их морфометрических характеристик и, в первую очередь, объемов воды.

Изменения климата повлияли и на нарастание толщины льда. Наибольших величин она достигает в период с февраля по апрель, а именно в этот период отмечается максимальное в году потепление. В результате наибольшая толщина льда за многолетний период значительно уменьшилась (рис. 4). Уменьшение составило на оз. Шакшинское 25 см за 48 лет, на оз. Арахлей 20 см за 54 года.

Водный режим озер определяется изменениями соотношения элементов водного баланса. В приходной части водного баланса оз. Арахлей осадки на зеркало водоема незначительно преобладают над притоком. Вода расходуется, в основном, на испарение, сток из озера составляет лишь 20 % расходной части. Для оз. Шакшинского характерно преобладание поверхностного притока над осадками, выпадающими непо-

средственно на водную поверхность. Более половины расходной части водного баланса этого водоема составляет испарение, на долю стока приходится 43,5 % [4].

Относительно стабильный в холодное время года уровень воды начинает повышаться после вскрытия озер в мае-июне. Наибольших значений он достигает в августе (оз. Арахлей) и сентябре (оз. Шакшинское) на 1—2 месяца после выпадения максимальных осадков. Более замедленная реакция уровня воды оз. Шакшинского обусловлена большим значением удельного водосбора (см. табл. 2). В течение осени и начала зимы происходит спад уровня. Средняя многолетняя амплитуда уровня за год на оз. Шакшинское составляет 0,42, оз. Арахлей — 0,30 м, максимальная годовая амплитуда достигает 1,30 и 0,86 м, соответственно. Абсолютная амплитуда уровня за многолетний период составила на Арахлее 2,19 м, Шакшинском — 2,01 м.

Многолетние изменения уровней воды озер Арахлей и Шакшинское происходят достаточно согласованно. Коэффициент корреляции между рядами средних годовых уровней составляет 0,73. Отмечаются совпадения во всех основных тенденциях их изменений (рис. 5). С начала наблюдений до 1984—1986 гг. в ходе уровня хорошо выражена цикличность. В 1962 г. уровень достиг максимума и со следующего года начал снижаться. В 1967—1968 гг. падение уровня сменилось его подъемом, про-



должавшимся до 1972 г. Следующая маловодная фаза продолжалась до 1980 г. Последующий рост уровня длился 4—6 лет и затем до 1990—1991 годов его колебания происходили на достаточно высоких отметках. В начале 1990-х годов уровень начал понижаться, достигнув к 2008 г. близких к абсолютному минимуму отметок.

Цикличность, выявляемая в колебаниях уровней воды озер, совпадает с цикличностью атмосферных осадков, что подтверждается как схожестью основных тенденций совмещенных графиков хода уровней и интегральной разностной кривой годовых сумм атмосферных осадков (см. рис. 5), так и достаточно высокими значениями коэффициентов корреляции межгодовых изменений осадков и уровней. Их величина составляет для оз. Шакшинское 0,72, оз. Арахлей — 0,81. Превышение доли стока и притока в водном балансе оз. Шакшинского над соответствующими элементами водного баланса Арахлея является основной причиной меньшей зависимости уровня Шакшинского от атмосферных осадков.

Обращает на себя внимание факт, что в конце 1980-х — начале 1990-х годов, когда осадки превышали норму, уровень озер, тем не менее, снижался. Наиболее вероятной причиной этого является увеличение в водном балансе озер доли испарения за счет повышения температуры воды, увеличения продолжительности периода с температурами выше 10 °С, уменьшения продолжительности периода с ледовыми явлениями, т. е. за счет факторов, обусловленных изменением климата. Однако, учитывая преобладающее влияние атмосферных осадков на изменения уровня, следует ожидать его повышение в следующую влажную фазу климатического цикла.

### **Выводы**

Таким образом, изменения климата проявились в термическом и ледовом режиме озер неоднозначно. Наряду с очевидными последствиями, такими как повышение температуры воды летнего периода, увеличение количества дней с температурой воды более 10 °С, уменьшение продолжительности периода с ледовыми явлениями, уменьшение толщины льда и другие, выявлены факты более раннего перехода температуры воды через 4 °С и уменьшения количества дней с температурой выше нее, более раннего начала ледовых явлений и увеличение продолжительности ледостава.

В уровненом режиме озер преобладает циклический характер изменений, обусловленный режимом атмосферных осадков. К последствиям, вызванным потеплением климата, можно отнести отмечающиеся в от-

дельные периоды нарушения согласованности изменений уровня воды и атмосферных осадков, выразившиеся в снижении уровня при выпадении осадков, превышающих норму.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации: в 2 т. Т. I. Изменения климата. М.: Росгидромет, 2008. 227 с.
2. *Обязов В.А.* Адаптация к изменениям климата: региональный подход // География и природные ресурсы. 2010. № 2. С. 34—39.
3. *Обязов В.А.* Изменения климата в Забайкалье / Материалы XIII научного совещания географов Сибири и Дальнего Востока. Т. 2. Иркутск: Изд-во Института географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2007. С. 97—98.
4. Ивано-Арахлейский заказник: природно-ресурсный потенциал территории / под ред. В.П. Горлачева. Чита: Поиск, 2002. 232 с.
5. *Вологдин М.П.* Термический режим оз. Арахлей // Биологическая продуктивность озера Арахлей (Забайкалье). Новосибирск: Наука, 1981. С. 5—19.
6. *Шишкин Б.А.* Об основных закономерностях межгодовых изменений режима Ивано-Арахлейских озер // Биологическая продуктивность Ивано-Арахлейских озер. Зап. Заб. Фил. Геогр. Общ-ва СССР. Вып. 80. 1972. С. 151—162.

#### Сведения об авторе:

Обязов Виктор Афанасьевич, к. г. н., доцент, руководитель Забайкальского межрегионального территориального управления Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Россия, 672038, г. Чита, ул. Новобульварная, 165, e-mail: obviaf@mail.ru