

ВЛИЯНИЕ КРУПНОГО ВОДОЕМА НА КЛИМАТ ПРИЛЕГАЮЩИХ ТЕРРИТОРИЙ

Л. Е. Назарова*, А. С. Макарова**

* Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

** Карельская государственная педагогическая академия

Известные слова А. И. Воейкова «...реки – продукт климата» применительно к озерам, по мнению В. Н. Адаменко (1985), следует дополнить. Озера – продукт не только климата, но и своего собственно состояния, определяемого условиями прошлого и настоящего. Кроме того, с полным правом можно говорить о климато-гидрологических системах. Система (от греч. σύντημα – «составленный») – множество взаимосвязанных объектов, организованных некоторым образом в единое целое. Не только климат влияет на формирование и изменения водоемов, но и водоемы, хотя и в меньшей степени, способны влиять на климат. В климатологии данное явление носит название *озерный эффект* – влияние озера на условия погоды и климата на берегах и на некотором расстоянии от берегов.

Эффекты влияния водоемов на метеорологические условия прилегающих территорий исследовались многими авторами. В настоящей работе будет предпринята попытка обобщить основные теоретические положения и оценки по этому вопросу.

Для территории Карелии исследование данного вопроса является актуальным, поскольку своеобразие климата республики определяется влиянием большого числа водных объектов, расположенных на ее территории. Озерность территории составляет 12% (озерность территории – это отношение суммарной поверхности озер, расположенных в пределах ландшафта, водосбора, природной зоны, страны, материка, ко всей площади рассматриваемой территории, выражаемое обычно в процентах, показатель, определяющий, какую часть данной территории занимают озера), а с учетом карельских частей Онежского и Ладожского озер достигает 21%, являясь одной из самых высоких в мире (Литвиненко, 1999). Для сравнения, самыми озерными странами являются Финляндия и Швеция, озерность которых составляет соответственно 9,4 и 8,6%. Всего в Карелии насчитывается более 61 тыс. озер и водохранилищ, суммарная площадь – около 18 тыс. км². Такое количество водных объектов на территории республики не может не оказывать определенного влияния на ее климатические условия.

Микроклиматические особенности водоемов и прилегающих к ним территорий возни-

кают в основном из-за различий в структуре теплового баланса. Суша нагревается быстрее, чем вода, но и быстрее остывает. В связи с разностью температур над водоемом и сушей возникает местная циркуляция воздушных масс.

С водоемами связаны как суточные, так и сезонные движения воздушных масс. Суточные движения связаны с изменениями температур воды и суши в течение суток. Такая местная циркуляция – это бриз. Название происходит от французского слова brise – легкий ветер. Ветер, подобный морскому бризу, но более слабый, дующий с поверхности большого озера в сторону берега в дневные часы, называется озерный бриз. В ночное время он сменяется береговым бризом (Хромов и др., 1974). Такие бризы наблюдаются на Онежском и Ладожском озерах, на озере Севан, на Великих озерах в Северной Америке. В переходное время суток, утром и вечером, отмечаются периоды штилевого безветрия. Бризы наиболее четко выражены в теплое время года. Днем над нагретой сушей возникают восходящие потоки теплого воздуха, в результате чего давление над сушей уменьшается, и холодный воздух с водоема поступает на сушу, где снова нагревается. Возникает дневной бриз. Ночью, когда поверхность суши становится холоднее поверхности водоема, возникает обратная циркуляция – ночной бриз. Утром обычно отмечается затишье, связанное со сменой ночного бриза дневным, после чего ветер усиливается и к 13–15 часам достигает максимальной скорости. Вечером дневной бриз стихает, сменяясь ночным. В переходные периоды года (март и сентябрь), когда разность температур суши и воды приобретает минимальные значения, отмечается стагнация процесса. Бризы могут возникать как на крупных, так и на мелких водоемах. Чем крупнее водоем, тем больше скорость бриза и его вертикальная мощность. Бризы крупных озер распространяются вглубь побережья на 10–30 км, бризы рек и малых водохранилищ – в пределах 10 км. Наиболее часто бризовые циркуляции возникают в низких широтах, в средних широтах бризы выражены слабее. Рельеф прибрежных территорий влияет на проникновение бриза вглубь суши. Наиболее далеко (на десятки, а иногда до 100 километров) бризы проникают на плоских побережьях. При нахождении на побережье

горных преград проникновение бризов вглубь территории значительно меньше.

На Ладожском озере бризы наблюдаются на всем побережье летом в безветренные солнечные дни и ясные ночи. Озерный бриз начинается около 9 ч и продолжается до 20 ч. Скорость его 2–6 м/с; распространяется на 5–8 миль вглубь суши.

Скорости ветра при бризовой циркуляции могут быть различны, от 1–2 до 7 м/с в случае развитого бриза. Водоемы влияют на скорость ветра и при отсутствии бризовой циркуляции. Над водоемами скорость ветра всегда больше, чем над прилегающими участками суши, вследствие малой шероховатости водной поверхности. Различия в шероховатости суши и водоемов приводят к тому, что воздушные потоки имеют тенденцию обтекать береговую линию со стороны водоема. Встречая на пути мысы, ветер частично обтекает их, а частично переваливается через них, вследствие чего усиливается. Поэтому на мысах можно наблюдать скорости ветра большие, чем над открытым водоемом. По мере удаления от берега скорости ветра ослабевают, и на расстоянии около 10 км влияние даже крупного водоема уже не сказывается.

Обширные акватории водоемов создают условия для развития сильных ветров. Летом скорость ветра на берегу водоема примерно на 30% больше, чем над открытыми участками суши, это связано с резким изменением шероховатости и уменьшением силы трения.

На рис. 1 представлены графики средних месячных скоростей ветра в районе Ладожско-

го озера. Для составления данных графиков были использованы сведения из «Справочника по климату СССР» (1966). Рассмотрены средние месячные скорости ветра для трех станций, расположенных на острове (Сухо, маяк), побережье (Свирица) и на расстоянии около 100 км от Ладожского озера. Можно сделать вывод, что для всех месяцев года скорость ветра над озером намного превышает скорость ветра на побережье. Особенно это проявляется в холодный период года. Чем дальше мы будем удаляться от побережья озера, тем более сглаженный годовой ход будет у скоростей ветра. В районе метеорологической станции Винницы в течение года скорость ветра изменяется незначительно – от 2,4 до 3,3 м/с, в то время как островная станция отмечает изменения скорости от 5,4 до 8,7 м/с в зависимости от времени года.

Если сравнить данные о средней месячной скорости ветра для побережья Онежского озера в районе г. Петрозаводска по двум пунктам наблюдений – Петрозаводск, Сулажгора и Петрозаводск, озеро, то можно наглядно увидеть, что во все сезоны года скорость ветра на берегу озера превышает скорость ветра в районе Сулажгоры (табл. 1).

Таблица 1. РАЗЛИЧИЯ В ВЕТРОВЫХ РЕЖИМАХ ПО ДАННЫМ НАБЛЮДЕНИЙ СТАНЦИЙ ПЕТРОЗАВОДСК, СУЛАЖГОРА И ПЕТРОЗАВОДСК, ОЗЕРО

Станция	Зима	Весна	Лето	Осень
Петрозаводск, Сулажгора	4,1	3,6	3,4	3,9
Петрозаводск, озеро	4,7	4,4	4,0	5,0
Разность	-0,6	-0,8	-0,6	-1,1

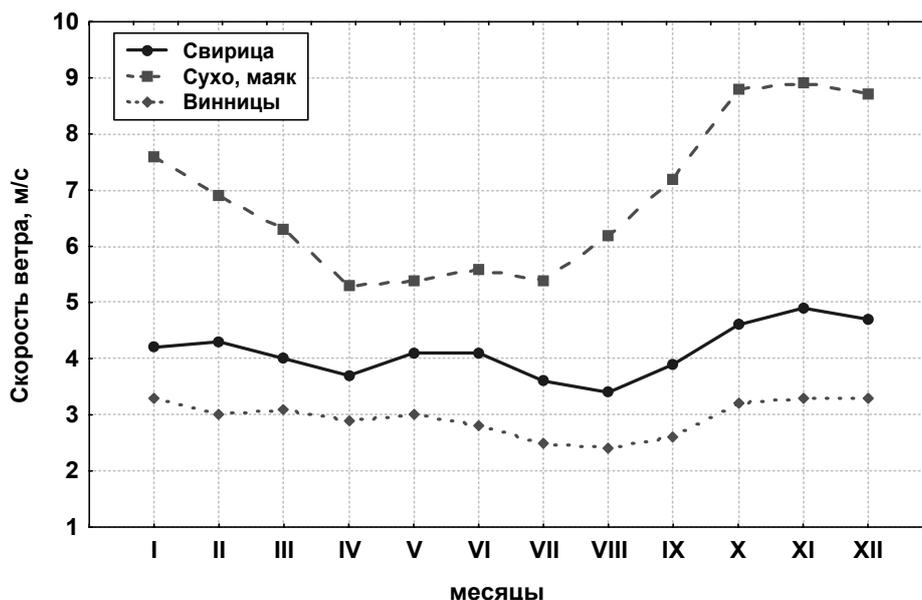


Рис. 1. Средние месячные скорости ветра в районе Ладожского озера

Изменение шероховатости и, как следствие, силы трения – не единственный фактор, вызывающий изменение скорости ветра над водоемом. На скорость ветра также влияют горизонтальные градиенты температуры, создающие горизонтальные градиенты давления. Градиенты давления, в свою очередь, могут приводить к различным по знаку изменениям скорости ветра при переходе воздуха с суши на водоем. Поэтому изменения ветра под влиянием водоема могут быть различными при разных метеорологических условиях даже для одного и того же водоема. При равновесных условиях скорость ветра над водоемом обычно увеличивается. При неравновесных условиях скорость ветра может остаться прежней или уменьшиться. Это происходит в тех случаях, когда горизонтальный градиент температуры и изменение шероховатости действуют в разных направлениях, т. е. неодинаковым образом изменяют скорость ветра. Такие условия в течение года бывают весной, а в течение суток – днем. В эти периоды температурные градиенты направлены с водоема на сушу. В таком случае увеличение скорости ветра над водоемом ослаблено влиянием градиента давления. Если указанные факторы действуют в одном направлении, то изменения скорости ветра могут оказаться весьма значительными. Такие условия наблюдаются в течение года зимой, а в течение суток – ночью.

Водоемы вносят заметные изменения в температурный режим прилегающих к ним территорий. В зависимости от размера они оказывают большее или меньшее влияние на температурный режим прибрежных районов. Влияние это неоднозначно в зависимости от сезона, времени суток и погодных условий. Днем и летом водоемы обычно оказывают охлаждающее влияние, а ночью и осенью – обогревающее. Но все же обогревающий эффект водоема превосходит охлаждающий, поэтому в среднем водоем обогревает окружающую территорию. Температура воздуха под влиянием водоема в среднем может повыситься на 2–3 °С. Терморегулирующее воздействие озера сказывается на годовом ходе температуры воздуха, особенно в переходные периоды (весна и осень). Так, по данным, приведенным Н. Н. Филатовым (1997) для Ладожского озера, температура января на о. Валаам выше температуры воздуха в шхерном районе (метеорологическая станция Сортавала) на 2,7 °С, средняя температура июля в озере ниже, чем на побережье, на 0,9 °С. Продолжительность безморозного периода на островах 180–190 дней, в то время как на побережье Ладожского озера – 110–140 дней.

Над крупнейшими озерами Европы Ладожским и Онежским к середине зимнего сезона (январь) формируются «очаги» тепла. Особенно это выражено над акваторией Ладожского озера. Над центральной частью озера замкнута изотерма –7 °С, в то время как по побережью проходят изотермы –9 ... –10 °С. В самый теплый месяц года – июль – вода озер прогревается, но не настолько, чтобы температура воздуха над центральной частью превысила температуру воздуха над побережьем, изотермы +16 °С замкнуты над этими районами, внутри их температура ниже. Эта разница температур исчезает в августе, а с сентября над озерами начинают формироваться области повышенной температуры.

Увеличение глубины водоема в 6 раз (от 5 до 30 м) весной усиливает охлаждающее влияние водоема тем сильнее, чем ближе урез воды. Осенью обогревающее влияние водоема тем сильнее, чем глубже водоем. Радиус влияния водоема осенью больше, а само влияние более значительно, чем весной. Так, если весной водоем глубиной 5 м на расстоянии 0,1 км охлаждает воздух на 0,4 °С, то осенью обогревающий эффект в 2 раза больше (Адаменко, 1979). С увеличением глубины различия в обогревающем влиянии осенью и охлаждающем весной сглаживаются, но не исчезают.

Исследования Т. В. Кириловой и других показали, что около 90% радиационного баланса расходуется на водоемах на прогревание водных масс и испарение и лишь 10% – на нагревание воздуха над водоемом. Поэтому нагрев воздуха над водоемом небольшой и почти не изменяется в течение суток, в то время как над сушей он заметно меняется. Амплитуда суточного хода температуры на побережьях мала за счет уменьшения температурного максимума. Амплитуда температуры воздуха в ясную погоду на берегу водоема в 2–2,5 раза меньше, чем вне зоны влияния водоема. Зона влияния водоема в зависимости от типа погоды меняется. При антициклональной погоде влияние водоема прослеживается на расстоянии 5–10 км в зависимости от площади, глубины, типов берегов этого водоема, при циклональной погоде зона влияния водоема уменьшается примерно в 2 раза.

Влияние крупного водоема неоднозначно в зависимости от сезона, времени суток и погодных условий. В табл. 2 приведены данные из «Климатологии» (1989) об изменении средних дневной и ночной температур воздуха под влиянием различных водных объектов в летний период в 20-километровой зоне от береговой линии.

Как видно из таблицы, значение и знак изменчивости дневных и ночных температур воздуха

Таблица 2. ИЗМЕНЕНИЕ СРЕДНЕЙ ДНЕВНОЙ (ПЕРВАЯ СТРОКА) И СРЕДНЕЙ НОЧНОЙ (ВТОРАЯ СТРОКА) ТЕМПЕРАТУР ВОЗДУХА ПОД ВЛИЯНИЕМ МОРЯ ИЛИ КРУПНОГО ВОДОЕМА. ИЮЛЬ

Море, водоем	Расстояние от моря (водоема), км							
	0,01	1	2	4	6	8	10	20
Черное море (Крымский п-ов)	-3,4	-0,5	-0,2	0	0	0	0	0
	4,9	1,6	0,9	0,3	0	0	0	0
Азовское море	-3,2	-1,5	-1,1	-0,8	-0,6	-0,4	-0,3	0
	3,0	1,9	1,5	1,0	0,7	0,5	0,3	0
оз. Байкал (зап. побережье)	-7,4	-4,2	-2,9	-1,4	-0,8	-0,4	-0,3	-0,2
	-6,4	-3,2	-2,4	-1,4	-0,9	-0,6	-0,4	-0,2
Белое море (вост. побережье)	-6,4	-2,3	-1,6	-1,0	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2
	-6,2	-2,6	-1,9	-0,8	-0,5	-0,2	-0,2	0
Баренцево море	-5,4	-4,0	-3,0	-2,0	-1,4	-0,9	-0,7	-0,2
	-5,2	-4,2	-3,2	-1,8	-1,0	-0,6	-0,4	-0,2

на побережьях водоемов очень различны. Дневные температуры вблизи береговой линии на южных морях, Черном и Азовском, понижены приблизительно на 3 °С по сравнению с границей ареала влияния водоемов (10 км), а ночные температуры повышены на 3–5 °С. На побережьях северных водоемов в летний сезон и дневные, и ночные температуры воздуха понижены.

Наиболее сильно влияние водоема сказывается на расстоянии до 5 км от берега. На расстояниях 5–10 км от берега изменения прослеживаются только при благоприятных условиях, таких как антициклональная погода, ветер направлен со стороны водоема. Изменение температуры на расстоянии 10 км составляет только 10% изменения температуры в прибрежной части. Даже при самых благоприятных условиях влияние водоема не прослеживается далее 40 км (рис. 2).

В целом водоемы сглаживают суточный и сезонный ход температуры. Годовая амплитуда температуры на неглубоких водоемах снижается на 2–2,5 °С, на глубоководных – на 4–5 °С. Макси-

мальные температуры воздуха значительно снижаются (на 1,5–2 °С), а минимальные немного повышаются (на 0,2–0,7 °С). Такие изменения влияют на продолжительность безморозного периода. Он увеличивается на 15–20 сут.

В табл. 3 приведены данные для оз. Байкал, представленные в работе А. Н. Афанасьева (1976). Из данных таблицы следует, что по мере удаления от Байкала температура воздуха в январе резко понижается, а в июле – повышается. В результате этого годовая амплитуда колебаний температуры воздуха снижена на 9–13 °С.

Таблица 3. СРЕДНИЕ МЕСЯЧНЫЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА И ГОДОВЫЕ АМПЛИТУДЫ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА В РАЙОНЕ оз. БАЙКАЛ (ДАННЫЕ А. Н. АФАНАСЬЕВА)

Станция	Местоположение	Январь	Июль	Амплитуда колебаний
Усть-Баргузин	Восточный берег оз. Байкал	-22,6	14,0	36,3
Баргузин	60 км от восточного берега	-26,7	18,3	45,0
Тасса	250 км к востоку	-31,2	18,3	49,5

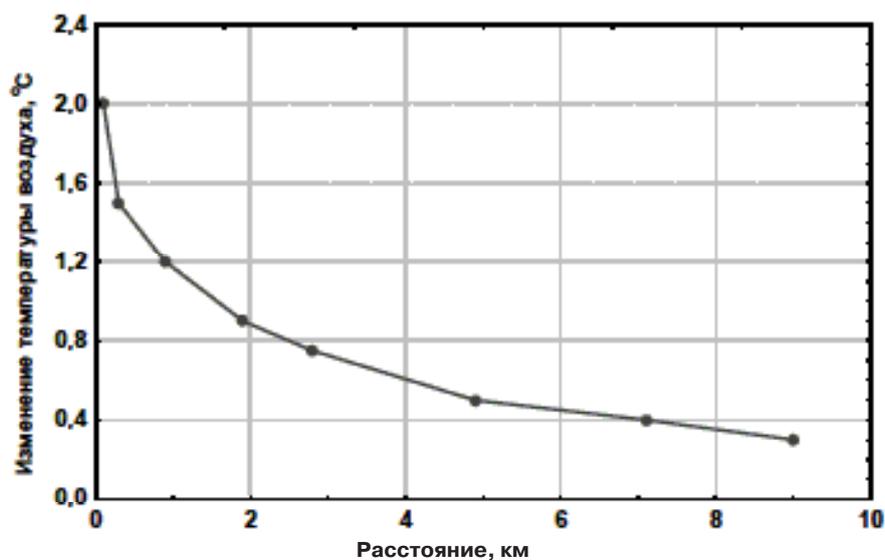


Рис. 2. Понижение температуры воздуха в зависимости от расстояния до берега Азовского моря. Послеполуденное время (по данным В. Н. Адаменко)

В среднем за год водоемы теплее суши. Исключения могут составлять только водоемы, находящиеся в сухих и жарких климатах, где испарение с поверхности суши крайне мало, а с водной поверхности – велико. Однако, как ни велико испарение в аридной зоне, тем не менее при прочих равных условиях водоемы на юге накапливают тепла больше, чем на севере. Это обуславливает отдачу ими большего количества тепла в конце периода нагревания. Этим можно объяснить рост отепляющего влияния водоемов от зоны тундры к зоне степей.

При исследовании изменений температурных характеристик побережья под воздействием водного объекта следует учитывать изменчивость направления ветра внутри выбранного интервала времени. При направлении ветра с водоема на сушу прибрежные территории испытывают большее воздействие. В случае противоположного направления ветра большее воздействие испытывает водоем. Горный рельеф и лесной покров на побережьях оказывают экранирующее воздействие.

Влияние крупного водоема может сказываться и в своеобразии режима облачности, влажности воздуха, атмосферных осадков.

На прилегающих к крупным водоемам территориях на 10% и более увеличена продолжительность солнечного сияния. Это происходит из-за уменьшения количества конвективной облачности (кучевые облака) над рассматриваемой территорией в теплый период года. Как было показано, водная поверхность прогревается медленнее, много тепла расходуется на испарение и, кроме того, вода распространяет тепло по всей толще. Это приводит к тому, что над водной поверхностью образуются нисходящие потоки, которые не позволяют развиваться мощной конвективной облачности. Так, для оз. Байкал на космических снимках для весенне-летнего сезона хорошо видно, что небо над озером безоблачное, а прибрежные пространства вокруг озера покрыты плотной облачностью.

Но в некоторых случаях бывают исключения. Когда холодный северный воздух натекает на крупное водное пространство, он нагревается, и могут образоваться спокойные, широкие, слабые потоки. Это часто наблюдается осенью и зимой возле крупных озер, морей и океанов и называется *водный термический поток*.

С удалением от берега на расстоянии 20–30 км над сушей происходит усиление турбулентности, возникают благоприятные условия для развития конвективной облачности.

Годовой ход продолжительности солнечного сияния (ПСС) в общем противоположен годо-

вым изменениям количества облачности, поскольку при увеличении количества облачности ПСС (продолжительность освещения земной поверхности солнечными лучами) уменьшается и, наоборот, при уменьшении облачности большее количество солнечных лучей может достигать поверхности Земли. В результате этого в районе крупных водоемов продолжительность солнечного сияния больше, а число дней без солнца меньше, чем на другой территории. Так, на территории Карелии наибольшая продолжительность солнечного сияния наблюдается в районе Ладожского озера (метеостанция Сортавала) – 1749 часов за год, в то время как в центральных районах Карелии ПСС составляет 1580–1620 часов, в южных районах республики – 1670–1690 часов (Нефедова и др., 2008).

С указанными особенностями режима облачности вблизи крупных водоемов также напрямую связаны характерные черты режима атмосферных осадков. Над зеркалом крупных озер (водохранилищ) и прибрежной территорией количество выпадающих атмосферных осадков уменьшено, особенно в течение теплого периода года. В сторону уменьшения осадков действует и малая шероховатость поверхности водоемов. Осадки на побережьях наиболее часто выпадают или рано утром, до начала дневного бриза, или поздно вечером после его окончания. По данным, приведенным в «Климате России» (2001), в зоне избыточного и достаточного увлажнения уменьшение количества осадков над большими водоемами (от 6000 до 18 000 км²) составляет 15–25% годовой суммы осадков над сушей. Над водоемами площадью 5000 км² количество осадков уменьшается на 5–10%.

На рис. 3 построены графики годового хода средних многолетних сумм выпадающих осадков по данным наблюдений на метеорологических станциях Валаам, Сортавала и Вяртсиля. Станция Валаам расположена на острове в Ладожском озере, МС Сортавала – на побережье, МС Вяртсиля – в 50 км на север от Сортавалы.

Как следует из приведенных графиков, суммы осадков, выпадающих над самим озером, в течение всего года не превышают количества осадков над побережьем. В период с июня по октябрь месячные суммы осадков возрастают при увеличении расстояния до озера.

Условия увлажнения территории определяют степень воздействия водного объекта на метеорологический режим его побережий: от незначительного в зоне избыточного и достаточного увлажнения до существенно большего в условиях зоны недостаточного увлажнения.

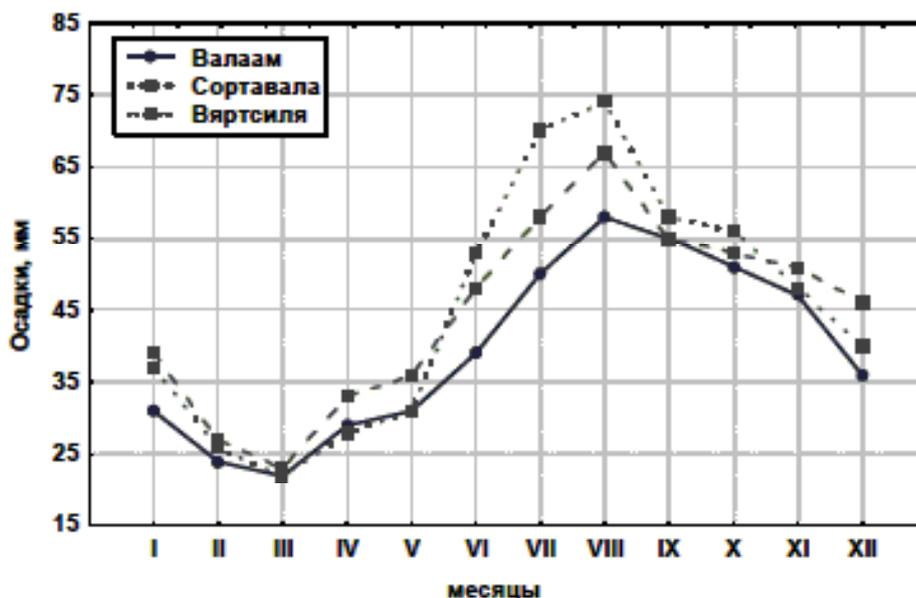


Рис. 3. Годовой ход среднего количества атмосферных осадков в районе Ладожского озера

Один из показателей климата, который в значительной мере испытывает влияние озера, – относительная влажность (процентное отношение фактической упругости водяного пара в атмосфере к упругости насыщающего водяного пара при той же температуре, характеризует степень насыщения воздуха водяным паром). Относительная влажность воздуха на прибрежных территориях увеличивается с наступлением морского бриза. Разница по сравнению с удаленными территориями может достигать 5–10%. Для Ладоги насыщенность воздуха водяными парами над озером и побережьем в среднем за год составляет 80–84%. Наиболее равномерно распределение влажности в зимний период. Весной и летом относительная влажность на побережье может падать до 60%, тогда как над озером, особенно в его южной части и на островах, она не опускается ниже 79%. Суточный ход относительной влажности обратный ходу температуры воздуха.

В табл. 4 приведены значения средней месячной относительной влажности воздуха по данным наблюдений на метеорологических станциях Василисин и Петрозаводск. Станция Петрозаводск расположена на побережье озера, МС Василисин – на острове в Онежском озере. Анализируя данные таблицы, можно сделать вывод о том, что в течение всего года

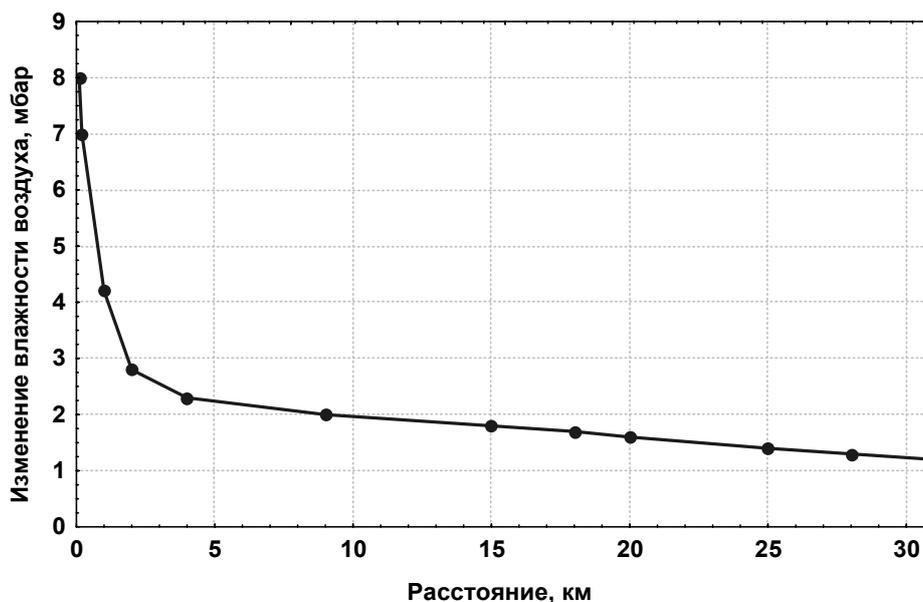
относительная влажность воздуха над Онежским озером превышает влажность на прибрежных территориях. Особенно разница проявляется в весенне-летний период, когда различия могут достигать 8–14%.

Увеличение влажности воздуха, находящегося над водоемом, прослеживается до высоты 300–400 м. Относительная влажность воздуха в нижнем стометровом слое увеличивается на 5–10% по сравнению с воздухом, находящимся над побережьем, на высоте 300–400 м – не больше чем на 2–3% (Адаменко, 1979). Приращение абсолютной влажности под влиянием его трансформации над водоемом достигает 7–8 мбар при относительной влажности натекающего на водоем воздуха 15–25% и около 1 мбар – при 90–95%.

График, составленный по данным В. Н. Адаменко для Азовского моря, наглядно показывает, что влияние крупного водоема на режим влажности воздуха прослеживается на расстоянии более 30 км (рис. 4). Так, на расстоянии 30 км изменение абсолютной влажности составляет примерно 10% от изменения в прибрежной зоне. (Абсолютная влажность воздуха – синоним «упругость водяного пара» – характеризует парциальное давление водяного пара в воздухе, измеряется в миллибарах или мм. рт. ст. Парциальное давление – та часть общего давления газовой

Таблица 4. СРЕДНЯЯ МЕСЯЧНАЯ И ГОДОВАЯ ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ВЛАЖНОСТЬ ВОЗДУХА ПО ДАННЫМ МС ПЕТРОЗАВОДСК И ВАСИЛИСИН

Станция	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Петрозаводск	86	84	76	70	65	68	73	78	83	85	88	88
Василисин	88	86	83	82	79	82	81	82	82	83	86	88



Р и с . 4 . Изменение абсолютной влажности воздуха в зависимости от расстояния до берега Азовского моря. Послеполуденное время

смеси, которая обусловлена данным паром или газом.) Если сравнить эти данные с данными для температуры воздуха, представленными на рис. 1, то можно сделать вывод, что радиус увлажняющего влияния водоема значительно превышает радиус термического влияния.

Водоемы не являются источником коренного преобразования климатических условий, но в то же время вносят заметные изменения в местный климатический режим. Влияние крупных водоемов проявляется в основном в том, что они отепляют (или охлаждают) и увлажняют побережья, ослабляют континентальность климата в радиусе влияния водоема, из-за уменьшения шероховатости подстилающей поверхности возрастает скорость ветра по сравнению с побережьями. Влияние водоемов на окружающую территорию заключается в:

- отставании сроков начала сезонов года;
- увеличении продолжительности безморозного периода на островах и прибрежных территориях;

- изменении температуры воздуха (отепляющий эффект осенью и зимой и охлаждающий – весной и в начале лета);

- увеличении влажности воздуха;
- возрастании скорости ветра над экваторией до 30% и более;
- уменьшении числа дней со штилем;
- уменьшении количества облачности;
- увеличении продолжительности солнечного сияния;
- уменьшении количества выпадающих атмосферных осадков над зеркалом крупных озер (водохранилищ) и прибрежной территорией.

Кроме того, следует отметить, что озерный эффект изменяется в зависимости от морфологических особенностей водоемов (размеров, глубины, конфигурации, характера берегов), а также от физико-географических условий их расположения (широты, долготы, высоты над уровнем моря, рельефа, растительности и др.).

ЛИТЕРАТУРА

Адаменко В. Н. Мелиоративная микроклиматология. Л.: Гидрометеиздат, 1979. 184 с.

Адаменко В. Н. Климат и озера. Л., 1985. 263 с.

Афанасьев А. Н. Водные ресурсы и водный баланс бассейна озера Байкал. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1976. 238 с.

Климатология / Под ред. О. А. Дроздова, В. А. Васильева и др. Л.: Гидрометеиздат, 1989. 567 с.

Климат Петрозаводска / Под. ред. Ц. А. Швер. Л.: Гидрометеиздат, 1982. 212 с.

Климат России / Под ред. Н. В. Кобышевой, Е. М. Акентьева и др. СПб.: Гидрометеиздат, 2001. 655 с.

Литвиненко А. В. Гидрографическая сеть Карелии и ее особенности // Экологические исследования природных вод Карелии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1999. С. 8–13.

Нефедова Н. В., Назарова Л. Е. Климатическая характеристика продолжительности солнечного сияния в Карелии // Водная среда и природно-территориальные комплексы: исследование, использование, охрана. Материалы III Регион. школы-конф.

молодых ученых. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2008. С. 18–24.

Справочник по климату СССР. Вып. 3. Ветер. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 267 с.

Справочник по климату СССР. Вып. 3. Влажность воздуха, атмосферные осадки, снежный покров. Л.: Гидрометеиздат, 1968. 327 с.

Филатов Н. Н. Изменения климата Восточной Фенноскандии. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1997. 147 с.

Хромов С. П., Мамонтова Л. И. Метеорологический словарь. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 568 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕСТ-ОБЪЕКТА *CERIODAPHNIA AFFINIS* LILLIJEVORG ПРИ БИОТЕСТИРОВАНИИ ТЕХНОГЕННЫХ ВОД ГОРНОРУДНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Н. М. Калинкина

Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

ВВЕДЕНИЕ

Важной проблемой в природоохранных исследованиях является поиск чувствительных тест-объектов, использование которых позволит заблаговременно оценить опасность сточных вод и принять необходимые меры для предотвращения загрязнения природной среды. Важно, чтобы эти организмы были представителями местной флоры или фауны, поскольку экстраполяция экспериментальных данных на полевые условия была бы в этом случае наиболее точной. В литературе содержатся примеры, когда стандартный тест-объект в силу своей недостаточной чувствительности не позволил обнаружить опасность загрязняющих веществ для природных экосистем. Так, оценка опасности техногенных вод Костомукшского горно-обогатительного комбината, расположенного на севере Карелии, была выполнена в опытах на ветвистоусых рачках *Daphnia magna* Straus. Этот вид – общепринятый тест-объект в токсикологических исследованиях (Лесников, 1971; Строганов, 1971; Брагинский, 2000). На протяжении 30 сут опыта дафнии выживали в неразбавленных техногенных водах (Дубровина и др., 1995; Калинкина, 2003). В то же время рачки из карельских водоемов (например, *Eudiaptomus gracilis* Sars) погибали в техногенных водах в течение нескольких часов (Калинкина и др., 2003).

Новым, более чувствительным тест-объектом, который предлагается использовать при оценке потенциальной опасности сточных вод для водоемов Карелии, может стать вид *Ceriodaphnia affinis* Lillijeborg (цериодафния). Впервые тест с использованием цериодафнии был разработан в 1984 г. в США. По сравнению с тест-объектом *Daphnia magna* новый тест позволяет за более короткий срок (7 сут вместо 24) дать оценку хронической токсичности тес-

тируемого образца воды. Под руководством Б. А. Флерова в Институте биологии внутренних вод РАН им. В. Д. Папанина тест с использованием цериодафний была адаптирован для целей экологического контроля в России (Флеров и др., 1988; Флеров, Жмур, 1991; Жмур, 2001). Тест с использованием вида *Ceriodaphnia affinis* проявил себя как экспрессный и информативный метод оценки токсичности сточных вод и их компонентов (Чалова, 2007; Чалова, Крылов, 2007).

В 2009 г. культура *Ceriodaphnia affinis* была любезно предоставлена старшим научным сотрудником ИБВВ Ириной Васильевной Чаловой для использования в научных исследованиях в Институте водных проблем Севера КарНЦ РАН.

Цель настоящей работы – оценить опасность техногенной воды Костомукшского ГОКа для нового тест-объекта *Ceriodaphnia affinis* и сравнить его устойчивость с устойчивостью ранее используемого вида *Daphnia magna*.

Задачи, которые решали в ходе исследования: разработать методы культивирования вида *Ceriodaphnia affinis* в новых условиях; оценить опасность техногенных вод Костомукшского ГОКа для видов *Ceriodaphnia affinis* и *Daphnia magna*; сравнить устойчивость двух видов к действию минеральных веществ.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Полученный образец культуры *Ceriodaphnia affinis* адаптировали к новой среде в течение 7 месяцев. В качестве контрольной среды использовали грунтовую воду, отобранную из источника на территории г. Петрозаводска, на левом берегу р. Неглинки, по ул. Вольной. Ее химический состав удовлетворяет требованиям, предъявляемым к контрольным средам в «Методике определения токсичности воды...»