

УДК 556.55:551.5(28)

ХАРАКТЕРИСТИКА ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ И ПОСТУПЛЕНИЯ ФОСФОРА В КУРИЛЬСКОЕ ОЗЕРО В 1980–2000 ГГ.

Л. В. Миловская



Проанализирована динамика основных гидрометеорологических показателей и поступления фосфора в оз. Курильское в период с 1980 по 2000 гг. Установлено, что усиление циклонической деятельности привело к уменьшению суровости зимних условий, отсутствию ледостава и снижению среднегодовой температуры воды (в результате интенсивного ветрового выхолаживания в зимний период). Снижение температуры воды в 90-е годы явилось причиной замедления сроков развития и уменьшения скорости прироста биомассы ракообразных. Дана прямая и опосредованная оценка динамики поступления фосфора в экосистему озера. Из-за слабой проточности озера запасы данного биогена до сих пор превышают дофертилизационный уровень, что наряду с низкой температурой воды способствует преимущественному развитию доминирующей холодноводной диатомеи аулякозеиры.

Курильское озеро расположено вблизи южной оконечности Камчатки, приблизительно в 70 км к северо-востоку от м. Лопатка, на расстоянии около 40 км от западного побережья и около 20 км от восточного. Курильское озеро относится к наиболее глубоким водоёмам Евразии. Площадь водосбора озера составляет 304 км², площадь зеркала 79,48 км², длина 12,6 км, средняя ширина 6,31 км, объём 14,6 км³, средняя глубина 180 м, максимальная — 316 м (Пономарёв и др., 1986). Озёрная котловина имеет форму параболоида. Зона мелководья выражена слабо. Высота над уровнем моря составляет 104 м. Среднее время полного водообмена 17,4 года (Пономарёв и др., 1986). Озеро является нерестово-нагульным водоёмом крупнейшего на азиатском материке стада озёрной нерки.

Целью данной работы является характеристика гидрометеорологических условий и уровня поступления фосфора за 1980–2000 гг., оказывавшими влияние на продуктивность первых трофических уровней экосистемы.

Автор выражает глубокую признательность ст.н.с. лаборатории промысловой океанографии КамчатНИРО А.Н. Заочному и заведующему лабораторией промысловой океанографии ТИНРО-центра Г.В. Хену за консультации и ценные замечания при написании данной статьи.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

В работе были использованы архивные данные по годовому количеству осадков за 1941–2000 гг., по температуре воздуха, среднегодовой температуре воды в слое 0–100 м, уровню в р. Озерной за 1942–2000 гг., прозрачности воды и биомассе сетного фитопланктона за 1980–2000 гг. и материалы экспедиции ДВГУ за 1980–1982 гг. (Комплексные..., 1982; Отчёт..., 1985).

Данные ежедневных гидрометеонаблюдений, полученных на метеопосту Озерновского наблю-

дательного пункта КамчатНИРО (температура воздуха, уровень, количество осадков), рассчитывали за декаду, месяц, на основании среднемесячных данных рассчитывали величины за год.

Записи вертикальных профилей температуры воды в пелагиали проводились на станции в центральной части озера (1950–2000 гг.). В 80-е годы указанные измерения выполняли по разрезу (с запада на восток), состоящему из шести станций, включая центральную. Сопоставление данных разреза с данными, полученными на центральной станции, показало идентичность результатов, поэтому в дальнейшем наблюдения проводили только на центральной станции. На основании записей вертикальных профилей температуры воды в озере в слое 0–200 м, полученных с помощью батитермографа (круглогодично, с интервалом в 1–2 раза в месяц, за исключением периодов становления и разрушения ледостава), рассчитывали среднюю температуру наиболее динамичного слоя 0–100 м, являющегося зоной обитания молоди нерки и ядра популяций кормовых ракообразных.

Кривые вертикального распределения температуры воды построены с помощью программы *SURFER*. Сумму градусодней рассчитывали для периода времени со средней температурой слоя 0–100 м от 4 °С и выше.

Прозрачность воды определяли по диску Секки. Межгодовые изменения данного показателя прослеживали по средним его величинам за вегетационный сезон (май–октябрь).

Фитопланктон облавливали в слое 0–200 м малой моделью сети Джели с диаметром входного отверстия 11,2 см, газ № 72. Численность сетного фитопланктона рассчитана на основании тотального просчёта 1 мл пробы в камере Наумана и последующего пересчёта на объём обловленного слоя. Биомассу фитопланктона по углероду определяли умножением количества клеток на их объём с введением поправочного коэффициента на содержание углерода.

Содержание фосфора (P_2O_5) в теле нерки рассчитано как 0,28% от биомассы отнерестовавших рыб (Кизеветтер, 1948); производили пересчёт на чистый фосфор.

Общий пул фосфора рассчитывали как сумму поступления фосфора с половозрелой неркой, а также с удобрениями (в годы фертилизации озера) за 16 предшествующих лет (косвенно отражающее эффект накопления), которое показало наилучшую аппроксимацию результатов при сопоставлении с динамикой биомассы аулякозёры (Миловская, 2000).

Анализ результатов проводили с использованием методов математической статистики (программы *STATISTICA* и *EXCEL*).

Климат и метеорологические условия бассейна Курильского озера формируются под действием различных факторов, характерных для юга полуострова Камчатка. Одной из особенностей циркуляции атмосферы над рассматриваемой территорией является активная циклоническая деятельность. Главными центрами действия атмосферы в тихоокеанском секторе Северного полушария являются: алеутская депрессия и сибирский максимум — зимой, северотихоокеанский максимум и азиатская депрессия — летом. Взаимодействие указанных центров определяет характер атмосферной циркуляции на Камчатке (Кондратюк, 1976).

В зимний период на северо-западе Тихого океана, в районе Охотского и Японского морей, расположена главная зона термобарических контрастов, что создаёт благоприятные условия для фронтогенеза и возникновения циклонов. Возникшие циклоны перемещаются к востоку, в район Алеутских островов, где они углубляются и стационарируют, образуя алеутскую депрессию. Зона наибольшей повторяемости циклонов приходится на южную половину полуострова (Кондратюк, 1976). Воздействие южных циклонов на состояние погоды в районе Курильского озера проявляется притоком тёплого влажного морского умеренного, иногда тропического, воздуха. При этом наблюдается пасмурная, с обильными снегопадами и штормовыми ветрами, погода. Характерные для зимнего периода циркуляционные процессы в бассейне озера происходят с ноября по март (Грантовских, 1986).

В весенний период происходит перестройка термобарического поля. Циклоническая циркуляция с апреля по май характеризуется меньшей интенсивностью по сравнению с зимней (Кондратюк, 1976). В районе Курильского озера в этот период наблюдается ясная, тёплая, маловетренная погода. Периодическое прохождение циклонов способствует кратковременному ухудшению погоды (Грантовских, 1986).

В летний период термобарические контрасты между сушей и океаном значительно уменьшаются. Сибирский максимум сменяется азиатской депрессией, а над океаном основным центром действия становится усиливающийся и сместившийся к северу северотихоокеанский максимум. Влияние циклонической деятельности резко ослабевает за счёт уменьшения глубины циклонов (Кондратюк, 1976). В районе Курильского озера преобладает прохладная, пасмурная, с туманами и низкой облачностью погода.

Осень характеризуется перестройкой термобарического поля над Азией и северной частью Тихого океана. Температура воздуха над сушей интенсивно понижается при сравнительно медленном её понижении над океаном. Азиатская депрессия в октябре исчезает совсем, а северотихоокеанский максимум ослабевает и отступает к югу. В этот период резко возрастает интенсивность циклонической деятельности над Охотским морем и над районом Алеутских островов. В районе Курильского озера наблюдается тёплая, маловетренная погода, сменяющаяся ненастной лишь при воздействии глубоких южных циклонов. В начале ноября полностью преобладают зимние циркуляционные процессы (Грантовских, 1986).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Температура воздуха. Температура воздуха в районе Курильского озера определяется особенностями движения воздушных масс, приходом и расходом солнечной радиации, водной массой озера и рельефом местности. Отопляющее влияние окружающих морей зимой обуславливает сравнительно высокую среднегодовую температуру воздуха. В районе озера холодный период (со средней суточной температурой ниже 0°C) продолжается около 160–200 дней. Переход через 0°C обычно происходит в середине апреля, через 5°C — в первой половине июня, а через 10°C — в середине июля. Обратный переход среднесуточной температуры воздуха через 10°C на понижение осуществляется в начале сентября, а в первой половине ноября среднесуточная температура становится ниже 0°C (Грантовских, 1986).

Наиболее высокая температура воздуха в районе озера отмечается с июля по сентябрь, с максимумом в августе, а наиболее низкая — с января по март, с минимумом в феврале (рис. 1).

По данным КамчатНИРО, диапазон изменений среднегодовой температуры воздуха за период 1980–2000 гг. составил от $0,7$ до $3,3^\circ\text{C}$ при среднемноголетней величине $1,48^\circ\text{C}$ (за 57 лет) (табл. 1). За период 1980–2000 гг. дважды отмечалась смена тенденций в изменениях среднегодовой температуры воздуха — в середине 80-х к потеплению и в середине 90-х к похолоданию.

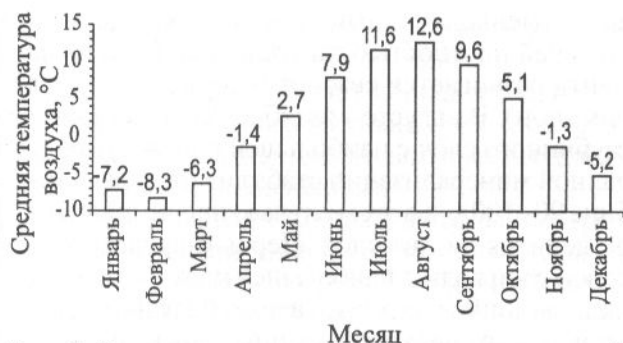


Рис. 1. Внутригодовая динамика среднемесячной температуры воздуха за 1980–2000 гг.

Величина среднегодовой температуры воздуха в районе озера зависит от температуры в зимний период, которая, в свою очередь, определяется интенсивностью циклонической деятельности. Тренды изменения среднегодовой и среднемесячной температуры воздуха за февраль (наиболее холодный месяц в районе Курильского озера) имеют однонаправленный характер (рис. 2). За счёт последовательного уменьшения суровости зимних условий со второй половины 80-х и по первую половину 90-х годов увеличивалась среднегодовая температура воздуха. Во второй половине 90-х годов тенденция сменилась на противоположную.

В целом за период с 1980 по 2000 гг., первое десятилетие характеризуется как холодное (среднегодовая температура воздуха была ниже среднегодовой, исключение — тёплый 1986 г. с температурой 2,1 °С и 1988 г. с температурой на уровне среднегодовой), а второе — как тёплое (с температурами, превышающими средний многолетний уровень).

Осадки и уровень воды. По влагообеспеченности южные районы Камчатки, в том



Рис. 2. Межгодовая изменчивость среднегодовой температуры воздуха и температуры за февраль в районе Курильского озера

числе и бассейн Курильского озера, относятся к зоне избыточного увлажнения. Атмосферные осадки преобладают над их суммарным испарением, которое не превышает 200–300 мм/год (Отчёт экспедиции..., 1985). Сумма осадков за год может достигать 1500–1700 мм (Кондратьев, 1976; Грантовских, 1986). В период 1980–1985 гг. количество осадков было ниже среднегодовой величины (797 мм), в последующие пятилетия в результате активизации циклонической деятельности количество осадков превышало среднегодовую величину (табл. 1).

Среднегодовая величина уровня р. Озерной за 59 лет наблюдений равна 71,1 см (по отношению к нулевой отметке водомерного поста Озерновского наблюдательного пункта КамчатНИРО). За предшествующий период (1942–1979 гг.) среднегодовой диапазон колебался в пределах 57–77 см, а за последние 20 лет — 65–83 см, что характеризует период 1980–2000 гг. как более полноводный.

Максимальный уровень воды в истоке р. Озерной обычно наблюдается в первой половине июля, когда происходит бурное таяние снега на склонах гор водосборного бассейна, а минимальный — в зимний период (Пономарёв и др., 1986а). Наибольшая сезонная амплитуда — 88 см. Межгодовая изменчивость уровня воды и суммарного количества осадков за год в целом совпадает, за исключением некоторых лет (табл. 1).

Термический режим озера. Климатические условия и форма озёрной котловины, наряду с глубоководностью Курильского озера, определяют его термический режим. Данный водоём является наиболее холодноводным среди всех нерестово-нагульных озёр Камчатки. Диапазон внутригодовых колебаний температуры воды на поверхности не превышает 13 °С — от близкой к нулю температуры в зимний период до 13 °С в прибрежной зоне в период наибольшего её прогрева (без учёта районов с выходом термальных вод, влияние которых не распространяется далее 100–150 м по горизонтали). Озеро замерзает не каждый год, ледостав обычно устанавливается во время штиля в конце января, либо в первой декаде февраля. Если на этот период приходится активная циклоническая деятельность, то сплошной ледяной покров не образуется. В годы с полным ледоставом период открытой воды продолжается с мая–июня по конец января. В годы без ледостава обычно присутствие заберегов и часто — дрейфующих ледяных полей.

Курильское озеро, как и большинство водоёмов умеренной зоны, относится к димиктическому типу. Смена стратификации с прямой на обратную происходит обычно в ноябре и с обратной на прямую в июне, иногда в июле, в зависимости от наличия либо отсутствия ледостава, так как в годы с ледоставом прогрев воды происхо-

дит в более поздние сроки. В августе в озере формируется классическая трехслойная структура с эпилимнионом, металимнионом и гиполимнионом. Эпилимнион наиболее выражен в октябре.

В работах А.А. Карюхина (1987, 1987а) рассмотрен механизм перемешивания и полной циркуляции в Курильском озере. Согласно его данным (Карюхин, 1987а), для Курильского озера в период свободной весенней конвекции более характерна схема вертикальной циркуляции, предложенная Зубовым (1947), так как в силу неразвитости мелководной зоны имеет место «сползание» более плотных вод по дну к центру озера, а в глубоководной части — подъём холодных глубинных вод к поверхности, что определяет низкую температуру воды на поверхности в течение длительного периода времени (до двух месяцев) в глубоководной части озера. В годы с ледоставом и без ледостава важным моментом термического режима озера является наличие глубинного слоя с наибольшей устойчивостью при существующей в озере минерализации (70 мг/л), причём формируется он со дна с момента достижения температуры наибольшей плотности (3,65 °С на глубине 300 м) и, по мере нарастания высоты слоя, во второй половине июля выходит на поверхность. После того, как температура воды на поверхности превысит 3,97 °С, по мере дальнейшего прогрева с поверхности нарастает слой

воды с меньшей плотностью, а слой воды с наибольшей плотностью заглубляется. С этого момента развивается сезонный термоклин (металимнион). В августе–октябре верхняя граница глубинного слоя с наибольшей плотностью при данной минерализации стабилизируется на глубине 90–100 м и в этом случае гиполимнион озера делится на два слоя. Первый представляет собой слой воды с наибольшей плотностью, располагающийся от дна до верхней границы слоя, второй — от верхней границы слоя воды с наибольшей плотностью до нижней границы металимниона. Осенняя свободная конвекция получает наибольшее развитие, когда температура поверхности воды опускается до температуры наибольшей плотности (Карюхин, 1987, 1987а). На оз. Курильском активизации этого процесса способствует увеличение средней скорости ветра в октябре–ноябре, что приводит к сильным сгонно-нагонным явлениям и, как следствие, к компенсационным течениям, которые при отсутствии градиентов плотности приводят к полной вертикальной циркуляции. При полной весенней и осенней циркуляции в димиктических водоёмах, как известно, происходит обогащение придонных вод кислородом, а верхних горизонтов — биогенными элементами со дна.

Мониторинг термического режима озера проводится в слое 0–200 м (зона обитания популя-

Таблица 1. Межгодовая изменчивость гидрометеорологических показателей, поступления фосфора и прозрачности воды в Курильском озере

| Год | Средне-годовая температура воздуха, °С | Суммарное количество осадков за год, мм | Средний уровень воды, см | Средняя температура воды в слое 0–100 м, °С | Продолжительность ледостава, дн.* | Сумма градусо-дней в слое 0–100 м с температурой от 4 °С и выше | Поступление фосфора, т** | Средняя прозрачность за май–октябрь, м |
|------|--|---|--------------------------|---|-----------------------------------|---|--------------------------|--|
| 1980 | 1,2 | 709 | 78 | 2,6 | 100 | 463 | 4,88 | 9,9 |
| 1981 | 1,0 | 693 | 83 | 3,6 | 100 | 853 | 11,88 | 8,2 |
| 1982 | 1,2 | 663 | 65 | 3,5 | 0 | 826 | 21,48 | 8,4 |
| 1983 | 0,7 | 604 | 75 | 3,9 | 113 | 830 | 5,11 | 8,1 |
| 1984 | 0,8 | 657 | 74 | 4,2 | 0 | 1199 | 9,69 | 9,1 |
| 1985 | 0,8 | 713 | 76 | 3,5 | 103 | 643 | 20,78 | 8,1 |
| 1986 | 2,1 | 868 | 76 | 3,6 | 0 | 820 | 8,08 | 9,3 |
| 1987 | 1,0 | 979 | 78 | 3,7 | 84 | 944 | 13,12 | 8,9 |
| 1988 | 1,5 | 982 | 74 | 3,9 | 0 | 881 | 7,05 | 8,0 |
| 1989 | 1,3 | 907 | 77 | 3,8 | 41 | 854 | 12,68 | 9,1 |
| 1990 | 0,7 | 858 | 74 | 3,8 | 0 | 890 | 22,39 | 7,8 |
| 1991 | 2,2 | 993 | 79 | 3,4 | 0 | 638 | 7,56 | 9,0 |
| 1992 | 2,0 | 926 | 73 | 3,2 | 0 | 638 | 3,46 | 9,0 |
| 1993 | 1,9 | 907 | 69 | 3,2 | 0 | 619 | 3,34 | 9,9 |
| 1994 | 3,0 | 1150 | 83 | 2,4 | 0 | 259 | 7,29 | 10,8 |
| 1995 | 2,2 | 889 | 71 | 3,0 | 0 | 481 | 3,08 | 9,3 |
| 1996 | 3,3 | 1130 | 70 | 3,1 | 0 | 635 | 6,06 | 9,0 |
| 1997 | — | 840 | 75 | 2,6 | 0 | 573 | 2,14 | 8,6 |
| 1998 | — | 808 | 70 | 2,2 | 90 | 426 | 1,68 | 11,1 |
| 1999 | 1,8 | 1280 | 79 | 2,1 | 91 | 274 | 3,51 | 9,9 |
| 2000 | 1,6 | 981 | 75 | 3,1 | 100 | 817 | 3,11 | 11,6 |

* - дана продолжительность сплошного ледостава, без учёта заберегов и дрейфующих ледяных полей

** - учитывалось поступление фосфора с рыбой и удобрениями (в пересчёте на чистый Р)

ций ракообразных), а основной анализ ведётся по средней температуре наиболее динамичного слоя 0–100 м, в котором обитает молодь нерки и ядро популяций кормового зоопланктона. Этот слой наиболее подвержен сезонным и межгодовым температурным изменениям.

Среднегодовая температура воды в озере в большей степени зависит от зимнего охлаждения, чем от летнего прогрева. В условиях Курильского озера максимальный прогрев слоя 0–100 м обычно отмечается с августа по октябрь, а минимальный — с февраля по апрель (рис. 3).

Анализ данных за 1980–2000 гг. показал, что за указанные 20 лет происходили наиболее резкие изменения температурных условий по сравнению со всем периодом наблюдений, начиная с 1942 г. Так, диапазон среднегодовой температуры воды в слое 0–100 м с 1942 по 1979 гг. находился в пределах 2,4–4,2 °С, а с 1980 по 2000 гг. — 2,1–4,2 °С, то есть за последние двадцать лет отмечалось как максимальное (4,2 °С в 1984 г.), так и минимальное (2,1 °С в 1999 г.) значение прогрева (табл. 1). Среднегодовая температура воды в слое 0–100 м (за 55 лет) составляет 3,3 °С.

Среднегодовая температура воды зависит от наличия или отсутствия ледостава. Снижение продолжительности ледостава либо его отсутствие во второй половине 80-х годов и полное отсутствие сплошного ледостава, отмечавшееся с 1990 по 1997 гг., привели к снижению температуры воды. Наличие ледостава в 1998–2000 гг. обусловило увеличение температуры воды (табл. 1).

Вследствие большого объёма водной массы и, в первую очередь, из-за большой глубины, озеру присуща инерционность термического режима. Расчёт коэффициентов автокорреляции по данным за 1942–2000 гг. показал, что наиболее сильное влияние на среднегодовую температуру в водоёме в текущем году оказывает температура воды в прошлом году ($r=0.689$; $p=0.001$), несколько слабее влияет температура двухлетней ($r=0.509$; $p=0.01$) и трёхлетней давности ($r=0.490$; $p=0.05$).

По принятой классификации температурного режима озера холодными считаются годы со

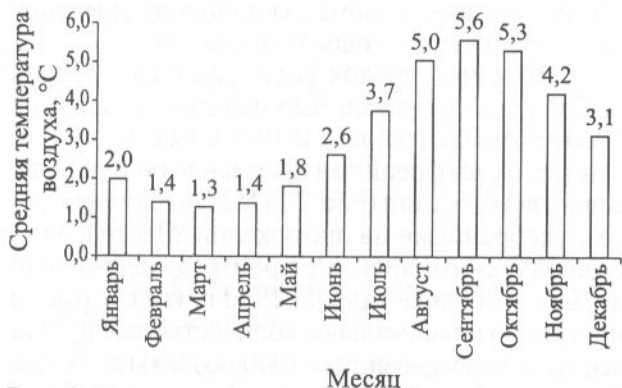


Рис. 3. Внутригодовая динамика среднемесячной температуры воды в слое 0–100 м за 1980–2000 гг.

средней температурой слоя 0–100 м ниже 3 °С, умеренными — с температурой 3,0–3,5 °С, тёплыми — с температурой от 3,6 °С и выше (Milovskaya et al., 1998). Температура воды выше среднеегодовой величины отмечена с 1981 по 1991 гг., ниже среднеегодовой — с 1994 по 2000 гг., что отражают чередующиеся циклы потепления и похолодания (табл. 1).

Изменение степени прогрева воды в озере в тёплые и холодные годы, прослеженное по вертикальным профилям, весьма значительно. Анализ вертикального распределения температур наиболее тёплого 1984 г. и самого холодного 1999 г. демонстрирует существенное различие во внутригодовой динамике вертикального распределения. Так, в 1984 г. наблюдалось максимальное заглужение тёплого ядра (рис. 4а), даже в декабре температура на глубине 200 м была выше 4 °С.

В холодном 1999 г. прогрев воды был поверхностным и слабым, ядро с температурой от 4 °С и выше существовало непродолжительное время и располагалось не глубже 80 м (рис. 4б). С августа по декабрь на глубинах ниже 130 м температура воды изменялась в диапазоне 2,0–2,5 °С и отмечалось наибольшее заглужение слоя с максимальной плотностью. Этот вопрос требует отдельного анализа термического режима озера за 90-е годы спе-

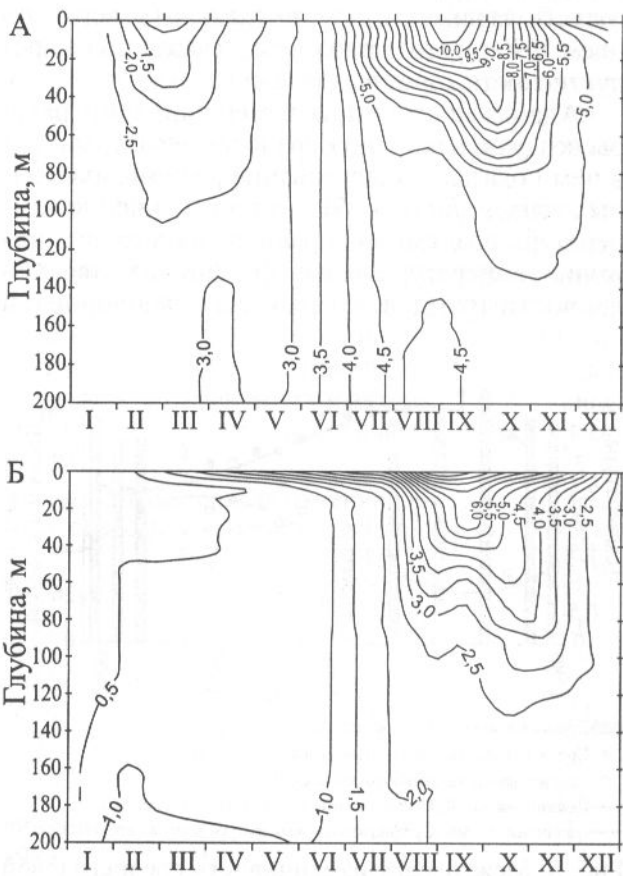


Рис. 4. Динамика вертикального распределения температуры воды в наиболее тёплом 1984 г. (А) и в наиболее холодном 1999 г. (Б).

циалистами-гидрологами, так как столь глубокого охлаждения озера, которое произошло в последнее десятилетие, ранее не отмечалось.

Снижение температуры воды, произошедшее в 90-е годы, явилось причиной замедления сроков развития и уменьшения скорости прироста биомассы ракообразных.

Сумма градусодней. Сумма градусодней в слое 0–100 м, рассчитанная для периода со средней температурой воды от 4 °С и выше, при которой происходит активный прирост биомассы ракообразных и нагул молоди нерки, изменялась от 259 до 1199. Наиболее значительные изменения произошли за последние двадцать лет, когда были зафиксированы максимум (1984 г.) и минимум (1994 г.). Среднеголетняя величина суммы градусодней с температурой от 4 °С и выше равна 692 (за 50 лет). Между среднегодовой температурой воды в слое 0–100 м и суммой градусодней существует тесная связь, описываемая прямолинейной зависимостью ($y=357,78x - 471,89; r=0,915$).

Динамика суммы градусодней имеет однонаправленный характер с динамикой средней температуры слоя 0–100 м и противоположна изменению температуры воздуха (табл. 1). На протяжении 80-х годов сумма градусодней в целом превышала среднеголетний уровень, а в 90-х годах была ниже среднеголетней (за исключением 1990 г.), что отрицательно сказалось на продуктивности кормовых ракообразных.

Анализ многолетних изменений температуры воздуха, в районе озера и температуры воды в нём показал существование разнонаправленных тенденций (рис. 5) — при увеличении температуры воздуха, как правило, происходит снижение температуры воды. Причина разнонаправленности трендов объясняется следующим: в



Рис. 5. Межгодовая изменчивость среднегодовой температуры воздуха в районе Курильского озера, средней температуры воды в слое 0–100 м и продолжительности ледостава

годы с более высокой температурой воздуха, обусловленной активизацией циклонической деятельности и приносом более тёплых воздушных масс, ледостав, как правило, не образуется, либо существует непродолжительное время. За период 1980–2000 гг. ледостав наблюдался только в 9 случаях. Хотя в годы без ледостава прогрев воды происходит в более ранние сроки, но вследствие сильного ветрового выхолаживания в зимний период общее теплосодержание вод в такие годы ниже. В годы без ледостава интенсивное ветровое выхолаживание воды в зимний период не полностью компенсируется летним прогревом и, если ледостав отсутствует в течение ряда лет, то теплосодержание вод постепенно уменьшается, что имело место в 90-е годы.

Таким образом, активизация циклонической деятельности в конкретных условиях Южной Камчатки (в районе Курильского озера) обусловила увеличение среднегодовой температуры воздуха и уменьшение суровости зимних условий в 90-е годы, что привело к снижению среднегодовой температуры воды в результате интенсивного ветрового выхолаживания озера в зимний период из-за отсутствия ледостава.

Поступление фосфора. Фосфор поступает в водоём, в основном, с поверхностным и грунтовым стоком (зависящим от количества осадков) и с производителями нерки; в 80-е годы фосфор вносили с удобрениями.

В настоящее время не представляется возможным прямая оценка поступления фосфора со стоком из-за отсутствия по нему (стоку) ежегодных данных. Возможна только косвенная оценка поступления фосфора через учёт количества осадков за год. Сопоставление суммарного количества осадков за год за период 1980–2000 гг. показало, что со второй половины 80-х годов оно нарастало (табл. 1), соответственно увеличивался смыв биогенов со склонов водосборного бассейна. Наибольшее количество фосфора со стоком поступало в озеро в 90-х годах. Биогены, поступающие со стоком, утилизируются фитопланктоном в текущем году, накопительный эффект отсутствует (Миловская, 2000). Тренды осадков и биомассы доминирующей диатомеи аулякозеиры совпадают (рис. 6).

Суммарный приток фосфора с половозрелой рыбой и удобрениями был наиболее высоким с 1980 по 1990 гг. (табл. 1). В 1981 и 1982 гг. поступление его с удобрениями превысило поступление с производителями (рис. 7). Поступление фосфора с удобрениями на протяжении 80-х годов постепенно снижалось, а с производителями нерки, в целом, нарастало по 1990 г., когда с рыбой поступило максимальное количество фосфора за все годы исследований (с 1940 по 2000 гг.). В 90-х годах ежегодный приток фосфора с половозрелой неркой постепенно сокращался.

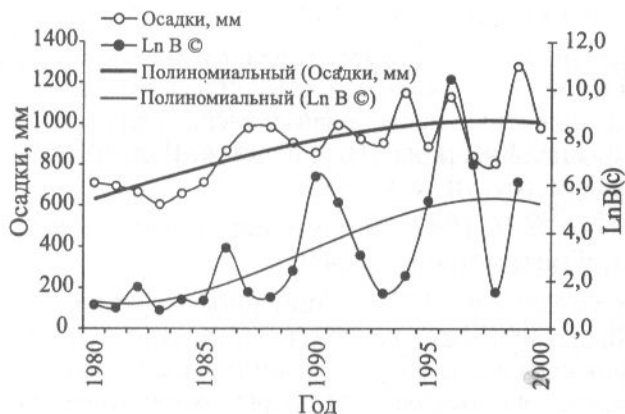


Рис. 6. Межгодовая изменчивость суммарного количества осадков за год и биомассы аулякозеиры за 1980–2000 гг.



Рис. 7. Межгодовая изменчивость поступления фосфора с рыбой и удобрениями

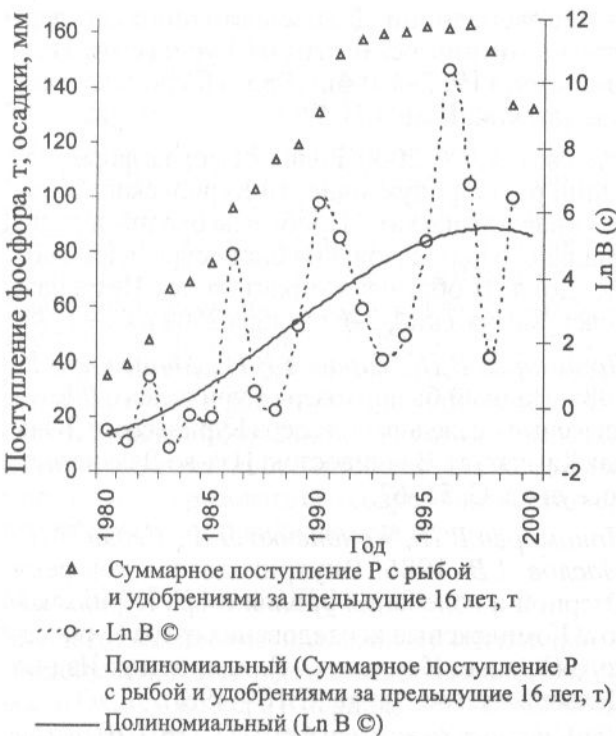


Рис. 8. Межгодовая изменчивость общего пула фосфора, поступившего с рыбой и удобрениями и биомассы аулякозеиры за 1980–2000 гг.

Курильское озеро относится к водоёмам с замедленным водообменом (Пономарёв и др., 1986), время полного водообмена составляет, в среднем, 17 лет. При такой слабой проточности в озере ежегодно сменяется только 1/17 объёма воды, следовательно, поступившие с рыбой биогены за предшествующие 16 лет должны участвовать в круговороте (Миловская, 2000). Помимо накопления за 16 лет, для сравнения было взято накопление за 8 лет — полупериод водообмена. Начиная с 1997 г. общий пул фосфора, поступившего с рыбой и удобрениями, постепенно снижается, но запасы его до сих пор достаточно велики (рис. 8). Так, к 2000 г. суммарное поступление фосфора за предыдущие 16 лет за счёт заходов и удобрений составило около 132 т, что намного превышает уровень дофертилизационного периода (70-е годы), характеризуемого диапазоном 31–51 т. Динамика биомассы аулякозеиры адекватна общему пулу фосфора, циркулирующему в экосистеме Курильского озера (рис. 7).

Экосистемы озёр с малым временем водообмена (Азабачье, Паланское, Дальнее и Ближнее) не испытывают такой зависимости от величины предшествовавших заходов производителей, в указанных озёрах сильнее прослеживается зависимость от текущего поступления фосфора.

Следует отметить, что термический и гидрохимический (конкретно, фосфорный) режим озера инерционны, но если инерционность термического режима проявляется по нисходящей не более 3-х лет, то инерционность фосфорного режима, вследствие слабой проточности, гораздо длительнее (от 8 до 16 лет).

Прозрачность воды. Прозрачность воды в озере довольно высока. В наибольшей степени она зависит от количества взвешенного органического вещества. Средняя прозрачность воды в вегетационный сезон (май–октябрь) за период 1980–2000 гг. составила 9,2 м. В 80-е годы амплитуда её изменения характеризовалась величиной 1,9 м; более значительные изменения сред-

Таблица 2. Межгодовая изменчивость средней прозрачности воды за вегетационный сезон (май–октябрь)

| Год | DS, м | Год | DS, м |
|------|-------|------|-------|
| 1980 | 9,9 | 1990 | 7,8 |
| 1981 | 8,2 | 1991 | 9,0 |
| 1982 | 8,4 | 1992 | 9,0 |
| 1983 | 8,1 | 1993 | 9,9 |
| 1984 | 9,1 | 1994 | 10,8 |
| 1985 | 8,1 | 1995 | 9,3 |
| 1986 | 9,3 | 1996 | 9,0 |
| 1987 | 8,9 | 1997 | 8,6 |
| 1988 | 8,0 | 1998 | 11,1 |
| 1989 | 9,1 | 1999 | 9,9 |
| | | 2000 | 11,6 |

Примечание: DS — прозрачность воды, измеренная по диску Секки

ней прозрачности происходили в 90-е годы, когда амплитуда составила 3,8 м (табл. 2). Минимальная величина прозрачности (7,8 м) отмечена в 1990 г. (после захода 6 млн. шт. производителей, когда наблюдалось высокое содержание доминирующей диатомовой водоросли аулякозеиры), а максимальная — 11,6 — в 2000 г. В целом, в 80-е годы прозрачность воды была ниже среднемноголетнего уровня, а в 90-е годы она увеличивалась, что свидетельствует о постепенном уменьшении взвешенного органического вещества в эвфотической зоне.

Межсезонные изменения прозрачности воды гораздо более существенны. Минимальная прозрачность за все годы исследований (5,4 м) была отмечена в сентябре 1988 г., максимальная (17 м) — в декабре 1993 г. Наиболее высокая прозрачность обычно наблюдается в зимний период; минимальная — в мае и обычно осенью в период квазигомотермии, когда в результате перемешивания становятся доступными биогены придонного слоя и отмечается массовое развитие диатомовых, а также после прохождения мощных осенних циклонов, вызывающих смыв биогенов со склонов водосборного бассейна.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Усиление циклонической деятельности и уменьшение суровости зимних условий в 90-е годы привело к увеличению среднегодовой температуры воздуха, росту количества осадков в районе Курильского озера и снижению в нем среднегодовой температуры воды в озере в результате интенсивного ветрового выхолаживания в зимний период из-за отсутствия ледостава.

Снижение температуры воды в 90-е годы явилось причиной замедления сроков развития и уменьшения скорости прироста биомассы ракообразных.

Поступление фосфора со стоком возрастало со второй половины 80-х и по конец 90-х годов вследствие увеличения количества осадков. С рыбой и удобрениями поступление фосфора увеличивалось по 1990 г., с 1991 г. приток фосфора с половозрелой неркой постепенно уменьшался. Общий пул фосфора, циркулирующего в экосистеме, с 1997 г. постепенно снижается, но из-за слабой проточности озера запасы данного биогена до сих пор достаточно велики и намного превышают дофертилизационный уровень, что наряду с низкой температурой воды создает условия для преимущественного развития доминирующей холодноводной диатомеи аулякозеиры.

Прозрачность воды в 80-е годы, в целом, была ниже среднемноголетнего уровня, в 90-е годы прозрачность возросла, что свидетельствует о постепенном уменьшении взвешенного органического вещества в эвфотической зоне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Грантовских А.В. 1986. Климат и метеорологические условия бассейна Курильского озера // Комплексные исследования озера Курильского (Южная Камчатка). Владивосток: Изд-во Дальневост. гос. ун-та. С. 30–51.

Зубов Н.Н. 1947. Динамическая океанология. Л.: Гидрометеиздат. 430 с.

Карюхин А.А. 1987. Закономерности формирования термического режима и плотностной стратификации вод глубоких димиктических озёр как основа для решения задач рыбохозяйственной практики (на примере вулканического озера Курильского). Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Владивосток. 26 с.

Карюхин А.А. 1987. Механизм формирования купола воды с наибольшей плотностью в димиктических озёрах // Материалы V Всесоюз. гидрологического съезда. Л.: Гидрометиздат.

Кизеветтер И.В. 1948. Об изменениях химического состава тела красной (нерки) // Изв. ТИНРО. Т. 28. С. 29–42.

Комплексные гидрологические исследования лососевых рек и озёр Камчатки: заключительный отчёт по х/д. теме № 312-78 ГС, ДВГУ. Владивосток. 1982. Т. 1. Осн. часть. 325 с. Т. 2. Приложения. 202 с.

Кондратюк В.И. 1976. Климат Камчатки. М. Гидрометеиздат. 200 с.

Отчёт экспедиции Дальневосточного государственного университета на оз. Курильском. Владивосток (1982–1984). 1985. Петропавловск-Камчатский. КамчатНИРО.

Миловская Л.В. 2000. Роль фосфора в формировании рыбопродуктивности Курильского озера (Южная Камчатка) // Проблемы охраны и рационального использования биоресурсов Камчатки. Докл. II обл. науч.-практ. конф. Петропавловск-Камчатский, 3–6 октября 2000 г. С. 92–98.

Пономарёв В.П., Тарасов В.И., Минятов В.К. 1986. Водный баланс озера Курильского // Комплексные исследования озера Курильского (Южная Камчатка). Владивосток: Изд-во Дальневост. гос. ун-та. С. 51–67.

Пономарёв В.П., Кононенко Л.А., Седин В.Н., Маслов А.В. 1986. Внутригодовой сток реки Озерной и колебания уровня озера Курильского // Комплексные исследования озера Курильского (Южная Камчатка). Владивосток: Изд-во Дальневост. гос. ун-та. С. 184–198.

Milovskaya, L. V., M.M. Selifonov, and S.A. Syrnakov. 1998. Ecological functioning of lake Kuril relative to sockeye salmon production // N. Pac. Anadr. Fish Comm. Bull. Vancouver, Canada. No. 1. P. 434–442.