

**ГИДРОЛОГИЧЕСКИЙ РЕЖИМ И ГИДРОХИМИЧЕСКАЯ ОСНОВА
ПРОДУКТИВНОСТИ КРОНОЦКОГО ОЗЕРА В ИЮНЕ–СЕНТЯБРЕ 2013 Г.**

Л.А. Анисимова¹, Г.Н. Маркевич^{2,3}

¹ФГУП «ВНИРО», ул. В. Красносельская, 17, Москва, 107140, Россия.
E-mail: lusya.anisimova@gmail.com

²Биологический факультет МГУ имени М.В. Ломоносова, Ленинские горы, д.1, стр. 12,
Москва, 119234, Россия. E-mail: g-markevich@yandex.ru

³Кроноцкий государственный природный заповедник, ул. Рябикова, 48, г. Елизово, 684000,
Россия

Особенности гидрологического режима Кроноцкого озера определяются двумя основными факторами: географическим положением и морфометрией его котловины. Близость Тихого океана оказывает заметное влияние на микроклимат и температурный режим водоёма. Основными источниками поступления биогенных элементов в озеро являются впадающие реки и атмосферные осадки.

**HYDROLOGICAL REGIME AND HYDROCHEMICAL BASIS OF PRODUCTIVITY
OF KRONOTSKOE LAKE DURING JUNE–SEPTEMBER, 2013**

L.A. Anisimova¹, G.N. Markevich^{2,3}

¹Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography, 17 V. Krasnoselskaya Str.,
Moscow. 107140, Russia. E-mail: lusya.anisimova@gmail.com

²Lomonosov Moscow State University, Biological Faculty, 1-12 Leninskie Gory, Moscow,
119234, Russia. E-mail: g-markevich@yandex.ru

³Kronotsky Reserve, 48 Ryabikova Str., Yelizovo, 684000, Russia.

Two main factors determine features of hydrological regime of Lake Kronotskoe. These are geographical position and basin morphometry. The proximity of the Pacific Ocean has a significant impact on climate and temperature of the reservoir. The main sources of nutrients in the lake are flowing rivers and precipitation.

Кроноцкое озеро – крупнейший пресный водоём Камчатского полуострова. Озеро и его водосбор находятся на территории Кроноцкого заповедника, в 250 км к северо-востоку от г. Петропавловск-Камчатский, в 40 км к северо-западу от Тихого океана. Абсолютная высота поверхности озера составляет 372 м. абс. (Агарков и др., 1975). По форме в плане озеро напоминает равносторонний треугольник, площадь водного зеркала составляет 246 км², объём водной массы озера – 14.2 км³, площадь водосборной территории – 2330 км². В озеро впадает около 30 рек и ручьёв (рис. 1). На озере расположено 11 островов суммарной площадью более 0.5 км² (Крохин, 2010). Максимальная глубина озера составляет 136 м, средняя – 58 м (Аракестьянц, Ткаченко, 2012). Из озера вытекает река с одноимённым названием, первые 15 км которой представлены системой порогов, непроходимых для анадромных рыб. Озеро населено эндемичными видами рыб: гольцами р. *Salvelinus* и озёрной формой нерки – кокани (*Oncorhynchus nerka*).

Общий уровень биологической продуктивности водоёма определяется развитием фитопланктона. Его развитие в значительной степени определяется наличием в воде ми-

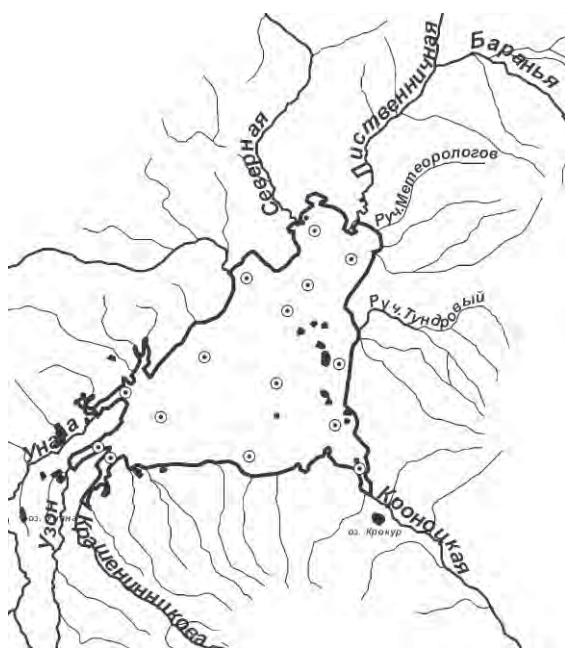


Рис. 1. Схема расположения станций гидролого-гидрохимической съёмки

неральных соединений, прежде всего, основных биогенных элементов - азота, фосфора и кремния. Таким образом, биогенные элементы, которые жизненно необходимы фитопланктону для образования органического вещества, являются гидрохимической основой биопродуктивности водоёмов (Лукьянова, 2007). Фотосинтетическая активность фитопланктона зависит от световых условий, температуры и обеспеченности биогенными элементами.

Исследования в бассейне Кроноцкого озера проводились в период с 16 мая по 15 сентября 2013 года. Гидролого-гидрохимическая съёмка озера проводилась один раз в месяц. Съёмка включала в себя измерение распределения по глубине температуры и электропроводности воды, содержания в воде растворённого кислорода, мутности и хлорофилла *a*, а также отбор проб воды для химического анализа. Изме-

рение температуры, электропроводности, мутности, содержания растворённого в воде кислорода и хлорофилла *a* проводилось с помощью мультипараметрического зонда RBR XRX-620. В лаборатории проводились определения содержания в воде биогенных элементов: неорганического фосфора, нитритного, нитратного и аммонийного азота, кремния, железа. Все применяемые методики определения содержания в воде биогенных элементов сводятся к фотоколориметрированию пробы после её предварительной обработки (Руководство..., 2003).

По термическому режиму озеро относится к холодным димиктическим озёрам, которые перемешиваются два раза в год – весной и осенью. Летом на озере наблюдается прямая температурная стратификация, зимой – обратная. Минерализация воды в озере характеризуется незначительными вертикальными и горизонтальными изменениями и не превышает 100 мг/л. Величина рН поверхностного слоя за вегетационный период уменьшается с 8,5-8,7 до 8,0.

В 2013 году к 9 июня озеро полностью очистилось ото льда. В это время температура поверхности озера изменяется от 3.18 °С (в центре водоёма) до 8.14 °С (в мелководном заливе на юго-западе). Во всей центральной глубоководной части озера (составляющей 60 % площади) температура поверхности не превышает 4 °С (рис. 2А). В вертикальном распределении здесь наблюдается весенняя гомотермия. В этот период в воде озера отмечено повышенное содержание взвешенных частиц, что можно объяснить попаданием в озеро большого количества материала в результате таяния льда, а также со стоком впадающих рек. Максимальная величина мутности (рис. 3А) в это время наблюдается в заливах юго-западной части озера в местах впадения рек (37.4 NTU). В этот период отмечено хорошее насыщение поверхностного слоя воды кислородом, на большей части акватории оно составляет 105–110 % (рис. 4А), лишь в юго-восточной части снижаясь до величины менее 100 %. Максимальное насыщение кислородом также отмечено в заливах в юго-западной части озера. Содержание хлорофилла *a* изменяется в пределах 0,4–1,7 мкг/л (рис. 5А). Максимальное его содержание отмечено в северной части, где оно достигает 1,67–1,83 мкг/л; минимальные концентрации наблюдаются в восточной части (0,41–0,61 мкг/л).

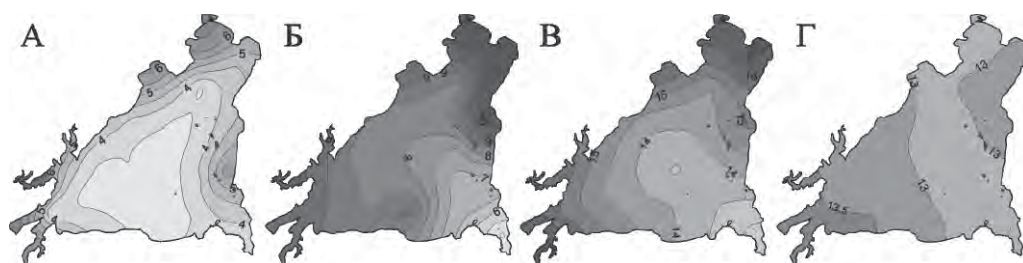


Рис. 2. Карта распределения температуры (°C) поверхностного слоя воды 9 июня (А), 13 июля (Б), 16 августа (В) и 11 сентября (Г) 2013 года

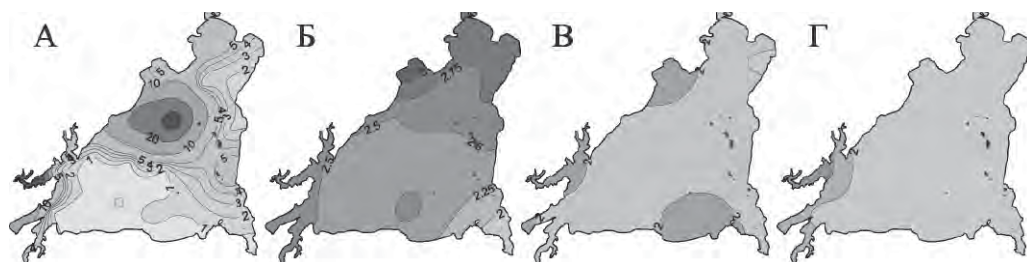


Рис. 3. Карта распределения температуры (°C) поверхностного слоя воды 9 июня (А), 13 июля (Б), 16 августа (В) и 11 сентября (Г) 2013 года



Рис. 4. Карта распределения насыщения (%) поверхностного слоя воды кислородом 9 июня (А), 13 июля (Б), 16 августа (В) и 11 сентября (Г) 2013 года

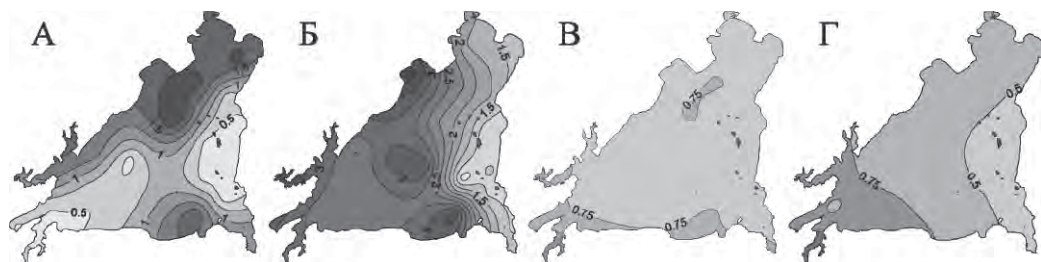


Рис. 5. Карта распределения содержания хлорофилла а (мкг/л) в поверхностном слое воды 9 июня (А), 13 июля (Б), 16 августа (В) и 11 сентября (Г) 2013 года

Формирование температуры воды в июле определяется двумя основными процессами. С одной стороны, радиационным прогревом, с другой – выхолаживающим влиянием океанических бризов, ежедневно приносящих адвективные туманы в юго-восточную часть озера. Эти процессы к середине июля создают большой температурный градиент поверхностных температур озера (рис. 2Б). В этом году он составил 5,26 °C. Холодное ядро клинообразно распространяется вглубь водоёма, температура в нём меняется от 4,94 до

8,00 °С. В более прогретых заливах температура достигает 9,68 °С (в юго-западной части) и 10,2 °С (в северной части).

Интенсивное динамическое перемешивание, обеспечиваемое стабильными ветрами, способствует ещё большему насыщению воды кислородом, в среднем оно составляет 115–120 % (рис. 4Б). Мутность воды к этому времени снижается до фоновых значений (2,25–2,75 NTU) (рис. 3Б). Содержание хлорофилла *a* изменяется в пределах 2–3 мкг/л (рис. 5Б).

К середине августа характер циркуляции воздушных масс меняется, преобладающие в июле ветра южных румбов меняются на западные и восточные. Этот фактор вместе с радиационным прогревом способствуют разрушению ядра холодных вод. Поверхностный слой воды прогревается до 13,0–15,5 °С (рис. 2В). Толщина эпилимниона в это время достигает 15 метров, в центральной глубоководной части она составляет 6–7 м. Различия в величине мутности воды, насыщении воды кислородом и концентрации хлорофилла *a* ещё больше нивелируются. Мутность воды на всей акватории не превышает 2 NTU (рис. 3В). Насыщение поверхностного слоя воды кислородом в среднем составляет 105 % (рис. 4В). Концентрация хлорофилла *a* по акватории изменяется от 0,56 до 0,65 мкг/л (рис. 5В).

К середине сентября температурные градиенты поверхностного слоя воды снижаются за счёт начавшегося постепенного выхолаживания поверхности, которое быстрее происходит на мелководьях, а также в результате интенсивного перемешивания во время осенних штормов. Температура по акватории озера изменяется в пределах 12,5–13,5 °С (рис. 2Г). Толщина верхнего прогретого слоя к этому времени достигает 20–25 метров. Величина мутности воды остаётся на уровне фоновых значений и не превышает 2 NTU (рис. 3Г). Насыщение поверхностного слоя воды кислородом в среднем составляет 102 % (рис. 4Г). Содержание хлорофилла *a* изменяется в пределах 0,50–0,75 мкг/л (рис. 5Г).

Содержание в воде озера биогенных элементов подвержено значительным временным изменениям. Комплекс определяющих факторов обуславливает весьма разнообразный характер их вертикального и горизонтального распределения. Для озера характерно высокое содержание кремния и очень низкое фосфатов. Очень высокие концентрации кремния в воде обусловлены составом подстилающих пород, содержание остальных биогенных элементов на порядок меньше.

Результаты съёмки, проведённой сразу после очищения озера ото льда (09 июня 2013 г.), показывают повышенное содержание всех определяемых биогенных элементов. Это связано с тем, что накопленные за зиму вещества ещё не успели израсходоваться. Наибольшие концентрации отмечены в юго-западной части озера (рис. 6). Такое распределение обусловлено влиянием талого стока впадающих рек. Минимальные концентрации наблюдаются в центральной и юго-восточной частях озера. Содержание минерального фосфора на большей части акватории изменяется в пределах 0,6–0,9 мкг*ат/л, увеличиваясь до 1,70–2,17 мкг*ат/л в юго-западной части (рис. 6А). Концентрация кремния на всей акватории озера не опускается ниже 130 мкг*ат/л, достигая 300–343 мкг*ат/л (рис. 6Б). Максимум концентрации железа также отмечен в юго-западных заливах (14,2 мкг*ат/л), по мере приближения к центральной части озера его концентрация снижается до 1,80 мкг*ат/л (рис. 6В). Содержание в озере азота нитритов невелико, в центральной и юго-восточной части озера не превышает 0,20 мкг*ат/л, в юго-западном заливе достигает 0,54 мкг*ат/л (рис. 6Г). Минимальные концентрации азота аммония также отмечены в центральной и южной частях водоёма (0,4–0,6 мкг*ат/л), максимум – в юго-западной части (рис. 6Д).

К середине июля содержание биогенных элементов снижается. Ярко выраженные пики концентраций в юго-западных заливах исчезают, в целом для большинства элементов наблюдается более однородное распределение по акватории. Концентрация минерального фосфора снижается до 0,3–0,4 мкг*ат/л, кремния до 140 мкг*ат/л, азота нитритов до 0,25 мкг*ат/л. Содержание железа, азота нитратов и аммония имеет более сложное

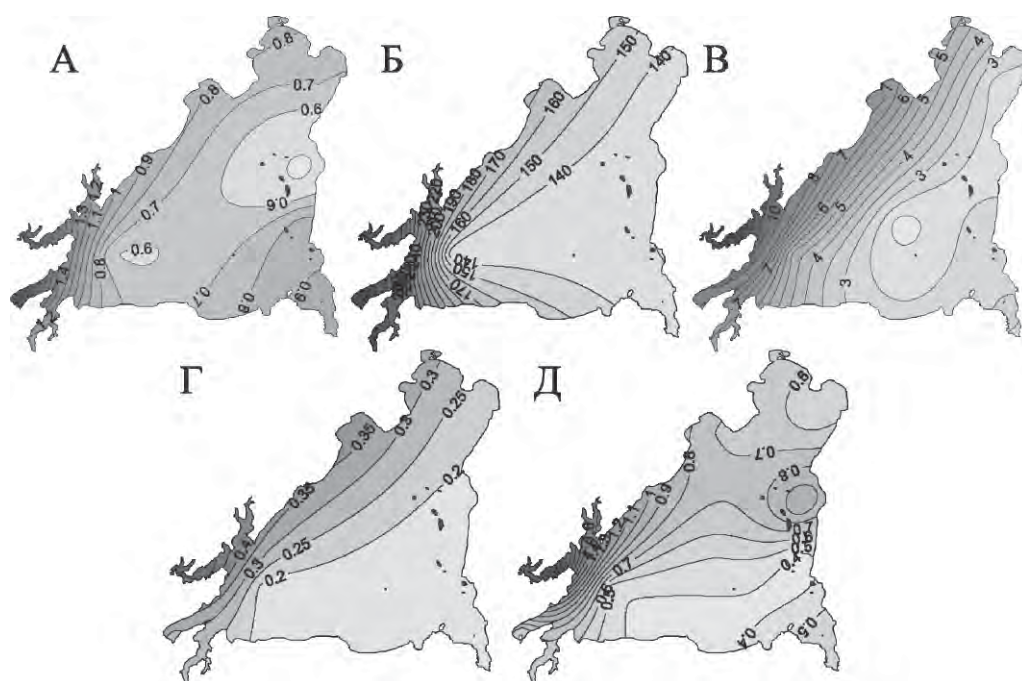


Рис. 6. Содержание биогенных элементов в поверхностном слое воды по результатам съёмки 09 июня 2013 г.:

А – фосфор фосфатов, Б – кремний, В – железо, Г – азот нитритов, Д – азот аммония, мкг*ат/л.

распределение и большую амплитуду колебания. Максимальные концентрации азота аммоний и нитратов отмечены в заливе на юго-востоке, минимальные – в центральной части. В сезонной динамике биогенных элементов в озере отмечена тенденция снижения их содержания в вегетационный период. Низкие концентрации являются свидетельством того, что к середине июля фитопланктон утилизировал зимние запасы этих элементов.

Данные за середину августа свидетельствуют о продолжающемся снижении концентраций. Содержание минерального фосфора осталось без изменения (в пределах 0,3–0,4 мкг*ат/л), только минимум сместился к северной части. Концентрация кремния продолжила снижаться: в центральной и юго-восточной частях она составляет около 120 мкг*ат/л, увеличиваясь до 130 – 140 мкг*ат/л в северной и юго-западной частях. Концентрации и амплитуды колебания минеральных форм азота также снижаются к этому времени. Азот аммония по всей акватории изменяется в пределах 0,3–0,4 мкг*ат/л, азот нитритов – около 0,13 мкг*ат/л. Азот нитратов колеблется в более широком диапазоне – 0,25–0,79 мкг*ат/л, с минимумом в заливе Кродакыг. В то же время, наблюдается увеличение содержания железа в воде озера. В центральной и юго-восточной части его концентрация изменяется в пределах 4–5 мкг*ат/л, в северной – достигает 12,0 мкг*ат/л, в юго-западной – 9,53 мкг*ат/л.

К середине сентября содержание минерального фосфора, азота нитритов и аммония увеличивается, в то время как концентрации кремния, железа и азота нитратов уменьшаются. По содержанию кремния поверхностный слой воды однороден, колеблется около 110 мкг*ат/л. Концентрация минерального фосфора в центральной части достигает 0,9–1,0 мкг*ат/л. Максимум концентрации азота аммония отмечен в восточной части (0,7–1,0 мкг*ат/л). Содержание железа изменяется в пределах 7–8 мкг*ат/л, азота нитритов – 0,18–0,20 мкг*ат/л, азота нитратов – 0,2–0,3 мкг*ат/л.

С глубиной содержание биогенных элементов в этот период времени претерпевает различные изменения, при этом в придонном слое отмечено заметное повышение концентрации всех элементов кроме азота нитритов, концентрация которого с глубиной не изменяется.

Фитопланктон в озере представлен в основном диатомовыми (Куренков, 2003). Согласно стехиометрическому соотношению для природных популяций планктона, в которых преобладают диатомовые водоросли, кремний находится в избытке как по отношению к азоту, так и к фосфору. Образование органического вещества лимитирует низкое содержание фосфора и азота. Интенсивность развития фитопланктона зависит от поступления этих питательных веществ.

Подводя итог, можно отметить, что сразу после схода льда на значительной части акватории содержание хлорофилла *a* невелико, при этом наблюдаются повышенные концентрации биогенных элементов, накопившихся за зимний период. В этот период происходит рост развития фитопланктона, на формирование первичной продукции расходуются накопленные запасы биогенных элементов. К середине июля концентрация хлорофилла *a* увеличивается в 2–3 раза, при этом наблюдается снижение концентраций биогенных элементов. Дальнейший рост концентрации хлорофилла *a* не наблюдается, запас накопленных биогенных элементов уже истрочен, а поступления извне отсутствуют. К середине августа концентрация хлорофилла *a* снижается, наблюдается однородное распределение хлорофилла *a* по акватории водоёма. Небольшое увеличение концентрации отмечено лишь в юго-западных заливах – местах впадения рек. К этому времени содержание в воде биогенных элементов ещё большее снижается. К середине сентября концентрации биогенных элементов немного увеличиваются. Содержание хлорофилла *a* остаётся на том же уровне.

ЛИТЕРАТУРА

- Агарков А.Ю., Дмитриева Л.Я., Догановский А.М. 1975.** Некоторые черты гидрологии Кроноцкого озера на Камчатке // Известия всесоюзного географического общества. Л.: Наука. Т. 107. Вып. 4. С. 352–357.
- Аракельянц А.Д., Ткаченко О.В. 2012.** Гидрологические характеристики Кроноцкого озера в начале XXI века // Вестник МГУ. Сер. 5. География. № 6. С. 77–83.
- Крохин Е.М. 2010.** Отчёт о работах экспедиции КОНИРСа на Кроноцком озере весной 1935 года // Исследования водных биологических ресурсов Камчатки и северо-западной части Тихого океана. Сборник научных трудов КамчатНИРО. Вып. 16. С. 52–67.
- Куренков И.В. 2005.** Зоопланктон озёр Камчатки. Петропавловск-Камчатский: изд-во КамчатНИРО. 178 с.
- Лукьянова О.Н. 2007.** Гидрохимическая основа биопродуктивности нерестово-выростных лососевых озёр: автореф. дис. канд. биол. наук: 03.00.18. М. 22 с.
- Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоёмов и перспективных для промысла районов Мирового океана. 2003.** М.: Изд-во ВНИРО. 202 с.