

СОВРЕМЕННЫЙ ТЕМПЕРАТУРНЫЙ РЕЖИМ АТОМНОГО ОЗЕРА (Семипалатинский испытательный полигон)

Д.Е. Аюнов, А.Д. Дучков, С.А. Казанцев, В.В. Романенко*, С.Б. Субботин*

*Институт нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия*

**Институт радиационной безопасности и экологии Национального ядерного центра,
071100, Курчатов, Красноармейская, 2, Республика Казахстан*

Представлены результаты изучения в 2013—2015 гг. температурного режима водной толщи рукотворного Атомного озера (Семипалатинский испытательный полигон). Исследования выполнены впервые. По температурному режиму выявлена двухслойная стратификация водной толщи. В верхнем слое (0—30 м) наблюдаются значительные вариации температуры в течение года, вызванные сезонными климатическими изменениями и ветроволновым перемешиванием. В нижнем слое (30—80 м) наблюдается устойчивое нелинейное распределение температуры. Данное озеро можно классифицировать как меромиктическое, в котором верхний слой состоит из относительно слабоминерализованной «легкой» воды, нижний — из высокоминерализованной «тяжелой». Такая стратификация препятствует сезонному перемешиванию всей водной толщи (от поверхности до дна).

Подземный ядерный взрыв, оз. Чаган, измерения температуры в водной толще озера, распределение температуры и минерализации, меромиктические озера, Семипалатинский испытательный полигон.

RECENT THERMAL REGIME OF LAKE ATOMIC (Semipalatinsk test site)

D.E. Ayunov, A.D. Duchkov, S.A. Kazantsev, V.V. Romanenko, and S.B. Subbotin

We present results of the first research into the thermal regime of the water column of man-made Lake Atomic (Semipalatinsk test site) performed in 2013–2015. The temperature data have shown a two-layer stratification of the water column. In the upper layer (0–30 m) there are significant yearly temperature variations caused by seasonal climatic changes and wind–wave mixing. In the lower layer (30–80 m) there is a stable non-linear temperature distribution. This lake can be classified as meromictic, whose upper layer consists of weakly mineralized «light» water and lower one, of highly mineralized «heavy» water. This stratification prevents seasonal mixing of waters of the entire column (from surface to bottom).

Underground nuclear explosion, Lake Chagan (Atomic), temperature measurements in lake water column, distribution of temperature and mineralization, meromictic lakes, Semipalatinsk test site

ВВЕДЕНИЕ

В январе 1965 г. на территории Семипалатинского полигона в месте слияния рек Чаган и Ащи-Су (100 км от г. Семипалатинск) был осуществлен первый в СССР опытно-промышленный (мирный) подземный ядерный взрыв [Ядерные испытания..., 2002]. Его целью был эксперимент по созданию водохранилищ посредством перекрытия русла реки в результате взрыва. Снаряд был заложен в скважине на глубине 178 м в углисто-глинистых сланцах нижнекаменноугольного возраста, перекрытых маломощным (5—7 м) слоем четвертичных глин. На месте образовалась круглая воронка диаметром около 400 и глубиной до 100 м. После взрыва долину р. Чаган соединили каналом с воронкой, которая в весенний паводок заполнилась талыми водами с температурой порядка 0—3 °С. В результате образовалось искусственное озеро Чаган, которое впоследствии получило название «Атомное» озеро (рис. 1). За прошедшие 50 лет в результате оползневых процессов глубина центральной части озера уменьшилась примерно на 15—17 м.

С момента образования озера происходило его постепенное засоление. В первый год минерализация воды оценивалась в 1,3 г/л. Через три года содержание солей в воде водохранилища увеличилось в 6 раз — до 8 г/л. В 2001 г. зафиксировано, что минерализация возрастает от 8 (у поверхности) до 11—12 г/л на глубинах 20—54 м. Предполагается, что вода поступает в озеро из нескольких источников

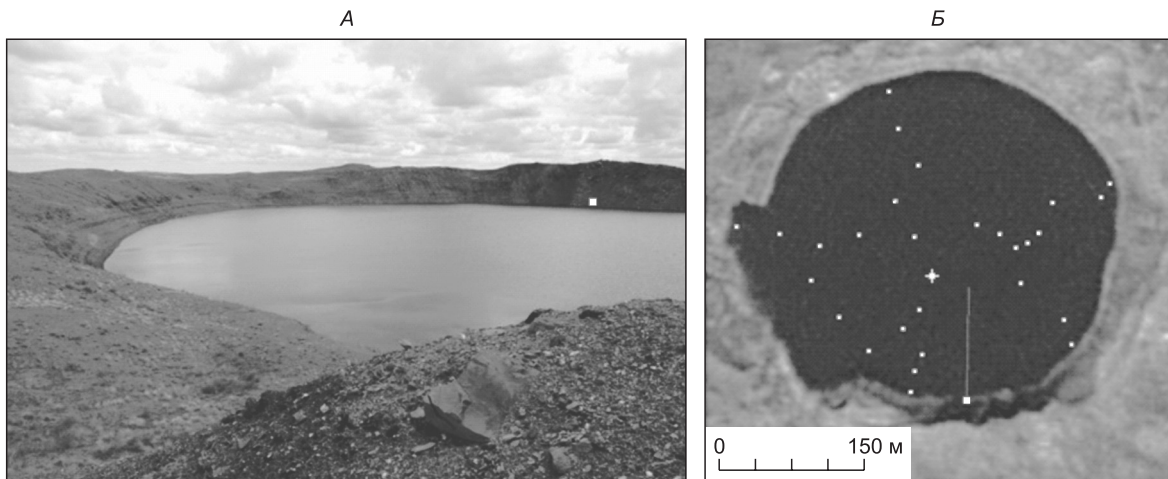


Рис. 1. Современный вид Атомного озера (фото авторов) (А), вид озера из космоса (Б).

Точками отмечены пункты измерения температуры дна в июле 2013 г., звездочка — пункт проведения термокаротажа водной толщи в июле, октябре 2013 г.; линией указано расположение термокосы на дне, квадратом — расположение автономного измерителя на берегу.

[Ядерные испытания..., 2002]: пресные, слабоминерализованные — с поверхности, минерализованные (10—15 г/л) — по зонам разломов из палеозойских пород. Вполне вероятно, что и в настоящее время процесс засоления озера продолжается.

Сотрудниками ИРБЭ НЯЦ РК зафиксированы значительные сезонные изменения содержания трития в воде озера, которые, по их мнению, могут быть связаны с тепловой конвекцией в водной толще. Для проверки этого предположения авторами впервые были выполнены в 2013—2015 гг. комплексные исследования температуры водного слоя. Их результаты представлены в данной статье.

ТЕХНИКА, МЕТОДИКА И РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

В разное время был проведен термокаротаж водной толщи в центральной части озера, выполнены измерения донных температур и осуществлен долговременный (15 месяцев) мониторинг изменений T вдоль придонного профиля.

Термокаротаж водной толщи. Измерения температуры дна и термокаротаж проводились переносным скважинным термометром. Инструментальная точность прибора составляла $\pm(0.02—0.03)$ °С. Донная температура на глубинах 10—85 м измерена в 30 пунктах озера (см. рис. 1, Б, белые точки). В 2013 г. дважды был сделан термокаротаж всей водной толщи в центральной, наиболее глубокой, части озера (см. рис. 1, Б, белая звездочка) от глубины 10 м до дна с шагом 2.5 м. В итоге получены температурные разрезы (термограммы) водного слоя, характеризующие распределение T в водной толще в летний и осенний период (рис. 2). На этом же рисунке приведены измеренные значения температуры дна.

Термокаротаж показал, что в верхней части Атомного озера (интервал 10—40 м) происходит уменьшение температуры с глубиной от 3.3 до 0.8 °С. Заметные колебания T во времени фиксируются до глубины 27—30 м. Минимальная температура, около 0.8—0.9 °С, зафиксирована на глубине 40—42 м. Ниже 42 м температура с глубиной начинает нарастать от 0.8 до 3.1 °С. Средний интервал (35—60 м) водной толщи озера оказался аномально холодным (0.8—1.0 °С). Записанные в разное время термограммы хорошо совпадают в интервале глубже 30 м, свидетельствуя тем самым о стабильности распределения T в наблюдаемый период. Сопоставление измеренных значений температуры толщи воды и дна на одинаковых глубинах показало их близкую идентичность (различие, в среднем не превышающее 0.2 °С, скорее всего, обусловлено систематической ошибкой завышения глубины при измерениях на дне). Это означает, что изотермы в водной толще озера занимают горизонтальное положение.

Температурный мониторинг. Для изучения динамики температурного поля водного слоя авторами организован его мониторинг. В качестве измерителя использована автономная станция температурного мониторинга (АСТМ), разработанная в ИНГ СО РАН [Казанцев и др., 2013]. Аппаратура обеспечивает измерение, сбор, хранение данных с цифровых и аналоговых датчиков температуры. АСМТ работает в диапазоне температур от -20 до $+40$ °С, обслуживает до 30 измерительных каналов, период

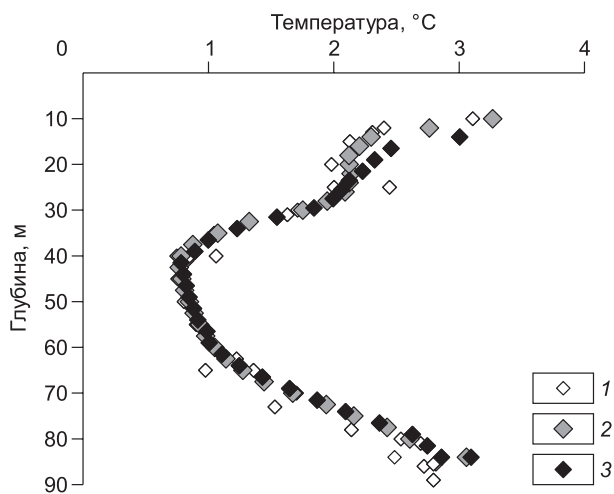


Рис. 2. Температуры дна и водной толщи Атомного озера в июле и октябре 2013 г.

1 — 25 июля 2013 г. (дно); 2 — 25 июля 2013 г. и 3 — 17 октября 2013 г. (водная толща).

измерений от 20 с до 24 ч. В качестве несущего и соединительного провода измерительной термокосы использовался трехжильный кабель, на котором равномерно распределены цифровые датчики температуры DS18B20 (всего 17 датчиков). Инструментальная точность измерений T цифровыми датчиками составляет ± 0.06 °C [Казанцев и др., 2013]. Измеритель размещался на берегу. Термокоса растягивалась по дну от берега к центру озера (см. рис. 1, А, Б). Опрос датчиков осуществлялся каждые три часа.

Мониторинг проводился с октября 2013 г. по апрель 2015 г. с перерывом в январе—июне 2014 г., вызванным необходимостью замены аппаратуры, разрушенной во время ледостава. В первый период мониторинга длина косы составляла 80 м и датчики размещались через 5 м. Во второй период использовалась термокоса длиной 170 м с тем же количеством цифровых датчиков, но размещенных через 10 м. В первом случае измерениями охватывалась водная толща до глубины 44 м, а во втором — до 75 м.

Данные мониторинговых измерений (порядка 3000 в месяц) после предварительной обработки были обобщены в виде графиков помесячных значений T по глубине (рис. 3) и временных температурных разрезов водной толщи на разные периоды наблюдений. На рис. 4 приведен один из таких временных разрезов, обобщающий результаты наблюдений, выполненных длиной термокосой в 2014—2015 гг.

Полученные в процессе мониторинга материалы в целом подтвердили и во многом уточнили установленные ранее особенности температурного режима Атомного озера. Были более детально зафиксированы значительные колебания температуры в приповерхностном водном слое мощностью 27—30 м (см. рис. 3, 4), обусловленные сезонными изменениями T воздуха и ветроволновым перемешиванием. В результате мониторинга выявлено, что установленное ранее (при проведении термокаротажа) нелинейное распределение температуры на глубинах 30—85 м (см. рис. 2) сохраняло стабильность в течение всего периода наблюдений (полтора года).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенные на Атомном озере температурные исследования выявили стратификацию водной толщи на два слоя, различающихся стабильностью температурного поля. Верхний приповерхностный слой мощностью 27—30 м характеризуется изменчивым в течение года температурным полем. Этот слой периодически подпитывается пресной или слабоминерализованной водой из соседнего водохранилища, а также талой и дождевой. В пределах нижнего слоя (30—80 м) в течение всего длительного периода наблюдений (2013—2015 гг.) фиксировалось стабильное нелинейное распределение температуры.

Выполненные температурные измерения позволяют сделать вывод, что зафиксированные сотрудниками ИРБЭ НЯЦ РК значительные сезонные изменения содержания трития в воде озера могут быть связаны только с процессами в верхнем слое озера (до 30 м). Любое просачивание газа из нижележащих пород неизбежно привело бы к нарушению стабильного температурного режима и было бы зафиксировано нашими наблюдениями.

В итоге можно констатировать, что за прошедшие 50 лет Атомное озеро превратилось из пресного (первые годы) в соленое озеро, которое в настоящее время можно отнести к меромиктическим водоемам [Stewart et al., 2009; Черновский, 2010; Rogozin и др., 2010]. В таких водоемах существует стратификация по солености и, соответственно, плотности (возрастают с глубиной) воды, препятствующая сезонной циркуляции всей водной толщи и стабилизирующая температурное поле в придонном слое. Граница между перемешиваемой и стабильной частями Атомного озера (хемоклин) располагается примерно на глубине 27—30 м. Придонный слой меромиктического озера не имеет контакта с атмосферой и в нем формируется особая обстановка (исчезает кислород, образуются сероводород и метан) и особая биологическая жизнь. Интересно отметить, что на Земле известны примеры возникновения меромикти-

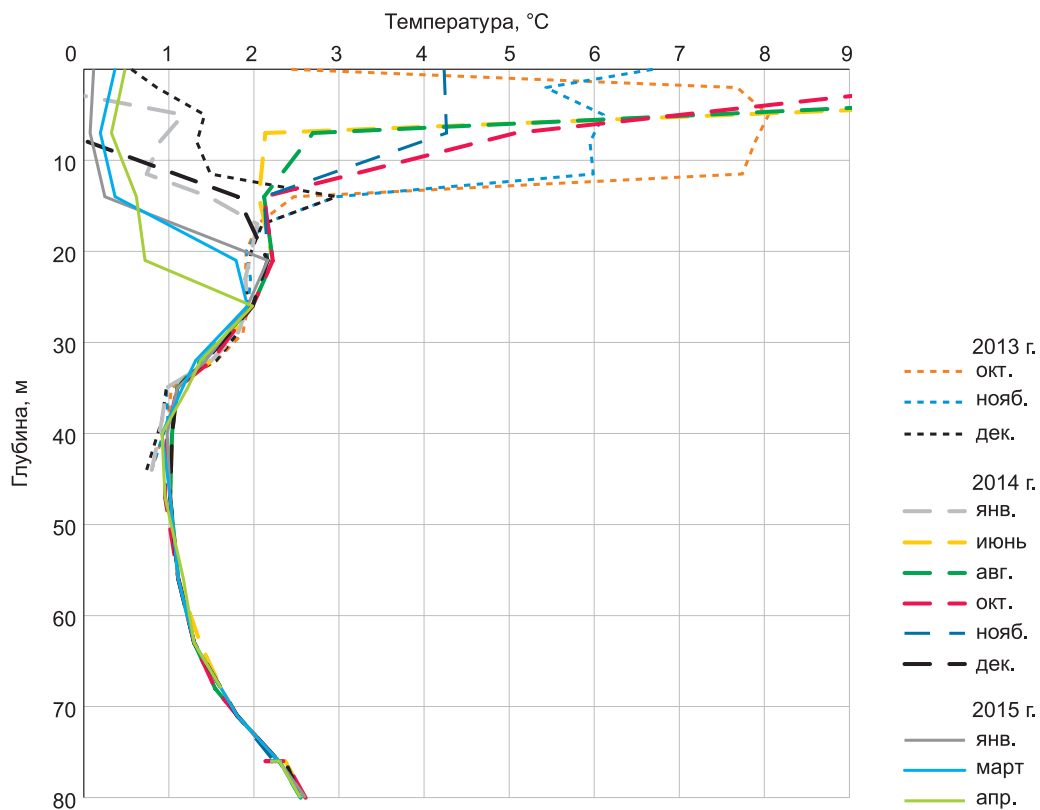


Рис. 3. Распределения температуры в водной толще Атомного озера с октября 2013 по апрель 2015 г.

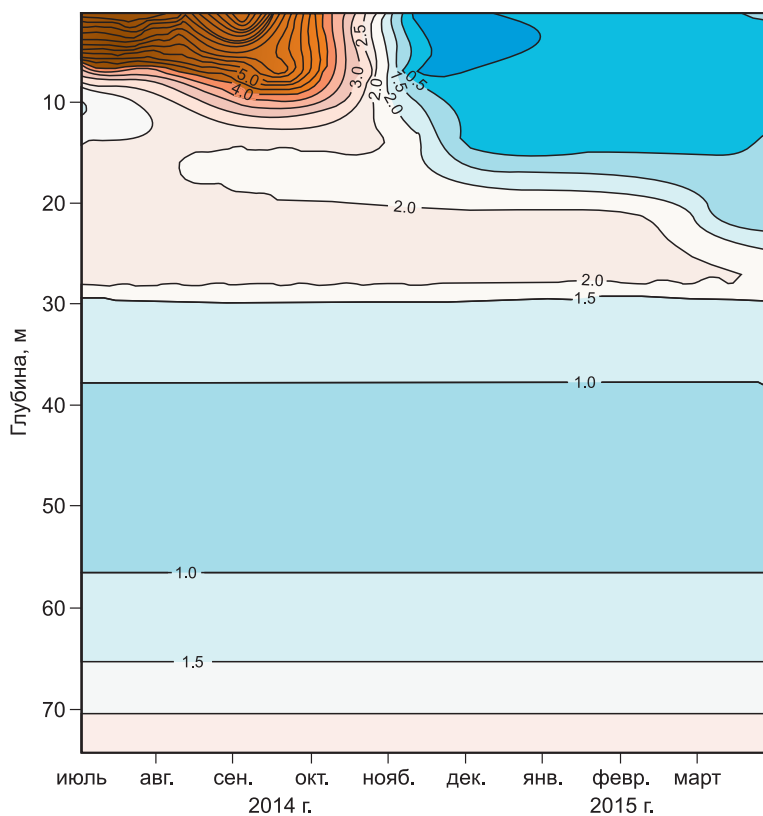


Рис. 4. Временной температурный разрез (°С) водного слоя Атомного озера по результатам мониторинга T с июля 2014 г. по март 2015 г.

ческих озер из заполненных водой заброшенных карьеров (по площади и глубине похожих на Атомное озеро). Известны также примеры проведения исследований по переводу меромиктических озер в пресные. Эта проблема актуальна и для Атомного озера и может являться стимулом для продолжения его изучения.

Авторы благодарят сотрудника Института биофизики СО РАН Д.Ю. Рогозина за консультации и обсуждение полученных материалов.

Исследование выполнено по плану базовых научно-исследовательских работ лаборатории естественных геофизических полей ИНГГ СО РАН при поддержке проектов ОНЗ - 7.1 и П.2П/IX.128-5.

ЛИТЕРАТУРА

Казанцев С.А., Пермяков М.Е., Дучков А.Д. Устройство для оперативного температурного мониторинга // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Международный научный конгресс, 15—26 апреля 2013 г., Новосибирск. Т. 2. Новосибирск, СГГА, 2013, с. 203—207.

Черновский Л.А. Учение о гидросфере. Новосибирск, СГГА, 2010, 108 с.

Ядерные испытания СССР: современное радиоэкологическое состояние полигонов / Ред. В.А. Логачёв. М., ИздАТ, 2002, 639 с.

Rogozin D.Yu., Genova S.N., Gulati R.D., Degermendzhy A.G. Some generalizations based on stratification and vertical mixing in meromictic Lake Shira, Russia, in the period 2002–2009 // Aquatic Ecol. 2010, v. 44, № 3, p. 485—496.

Stewart K.M., Walker K.F., Likens G.E. Meromictic lakes / Ed. G.E. Likens. Encyclopedia of inland waters. V. 2. Oxford, UK, Elsevier, 2009, p. 589—602.

*Рекомендована к печати 20 октября 2016 г.,
М.И. Эповым*

*Поступила в редакцию
18 июля 2016 г.*