

Как видно из приведенных выше величин, в арктическом регионе наблюдается значительная пространственная и временная (внутри- и межгодовая) изменчивость концентраций сажевого аэрозоля в приземном слое воздуха. Характеристики как пространственной, так и временной изменчивости содержаний/концентраций сажевых частиц формируются под действием целого комплекса факторов: мощность и пространственное распределение источников сажевого аэрозоля, дальний перенос воздушных масс, стратификация атмосфе-

ры, облачность, атмосферные осадки и многие другие. На сегодняшний день исследования характеристик сажевого аэрозоля в российской части Арктики находятся на начальном этапе. Они начали приобретать систематический характер после организации постоянных измерений концентрации сажи в obs. Тикси и сезонных измерений в РНЦШ (Баренцбург).

В.Ф.Радионов (ААНИИ)

ИЗ ИСТОРИИ ИССЛЕДОВАНИЙ АНТАРКТИЧЕСКОГО ОЗЕРА РАДОК

Широко известно антарктическое о. Восток, скрытое под толщей ледника мощностью более 3,5 км. Но мало кто слышал о самом глубоком из уже открытых наземных водных бассейнов ледяного континента — оз. Радок, которое расположено в горах Принс-Чарльз (Восточная Антарктида) на удалении около 290 км от залива Прюдс (море Содружества) и в 40 км юго-западнее отечественной полевой базы Союз.

Контуры оз. Радок впервые появились на карте, составленной по результатам аэрофотосъемки Австралийской антарктической экспедиции 1956 г. Австралийцами озеро названо в честь своего соотечественника — Уве Радока, преподавателя метеорологии в университете Мельбурна. Более детально район оз. Радок представлен на топографической карте масштаба 1:100000, изданной Главным управлением геодезии и картографии СССР (ГУГК) в 1978 г. на основе материалов аэрофотосъемки 1972 г. Именно такая карта использовалась участниками 29-й САЭ при проведении сезонных полевых работ в горах Принс-Чарльз с территории полевой базы Союз. Определенная по этой карте площадь поверхности оз. Радок составляла 20,1 км², длина озера — 10 км, наибольшая ширина — 2,9 км. Водная чаша Радока занимает глубокую впадину с крутыми склонами из гранита почти пятисотметровой высоты на западном побережье и из песчаника (высотой до 180 м) — на восточном. Лишь юго-западную часть озера частично по-

крывает ледник. Высота уреза воды озера, отмеченная на карте ГУГК, составляет 7 м над уровнем моря. Какие-либо данные батиметрических и гидрологических измерений на о. Радок к моменту начала работ 29-й САЭ отсутствовали.

Выезд группы советских полярников с базы Союз в полевую лагерь на оз. Радок состоялся 9 февраля 1984 г. В лагере (палатка КАПШ-2), который расположился на берегу озера у истока р. Межозерной, для выполнения полевых работ в течение запланированных трех суток осталось пять исследователей. Это были сотрудник Института географии РАН СССР В.И. Бардин (он же начальник полевой лагерь), два геолога — В.М. Будько и А.А. Кирсанов (ПГО «Аэрогеология»), механик Б.В. Ткачев и гидролог А.А. Пискун (ААНИИ). Транспортировку полярников в лагерь и обратно на базу Союз выполнил водитель вездехода И.Н.Ефимов (ПГО «Севморгеология»).

Намеченные гидрологические исследования на озере, с учетом кратковременности существования лагеря, можно отнести к рекогносцировочным. В то же время они включали целый комплекс работ: промеры озерной чаши, измерение толщин льда, определение вертикального профиля температуры воды, отбор проб воды на различных горизонтах для определения ее химического состава и отбор проб донных отложений для последующего granulometric и минералогического анализа.

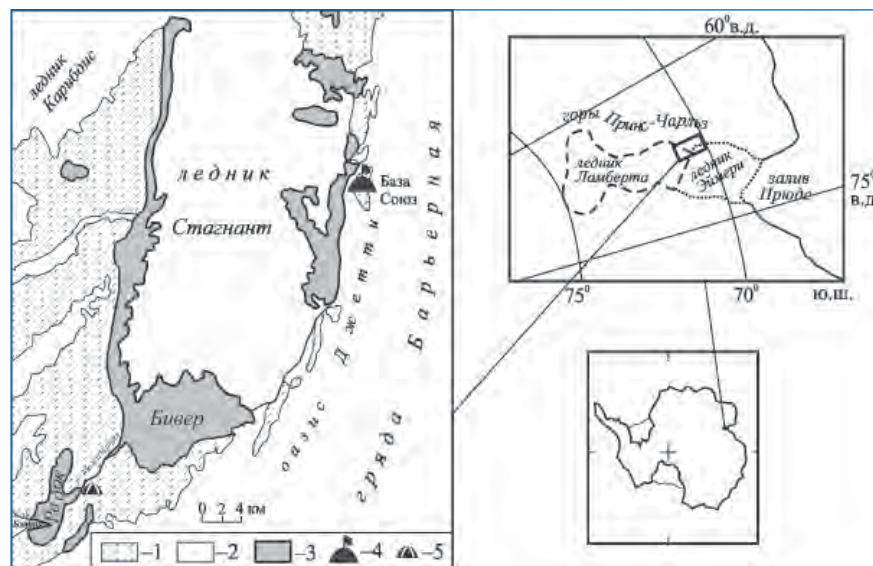


Схема района работ и местоположение полевой базы 29-й САЭ на озере Радок: 1 — коренные породы, 2 — ледники и снежники, 3 — озера, 4 — полевая база Союз, 5 — полевой лагерь на озере Радок.

Гидрологические работы выполнялись тремя членами экспедиции — А.А. Пискуном, Б.В. Ткачевым и В.И. Бардиным. Надо отметить, что ранее (в 1972 г.) В.И. Бардин во время очередной САЭ уже проводил геоморфологические исследования в окрестностях о. Радок. Тогда у него сложилось убеждение, что озеро должно иметь значительную глубину за счет пересечения на его акватории осей трех хорошо выраженных межгорных котловин, а именно оси основной озерной чаши, оси долины ледника Бэтти (или, по карте ГУГК, — ледника Приозерный) и оси восточного залива озера, к которому примыкает долина Пагодрома, соединяющая оз. Радок с эпишельфовым водоемом Бивер. Желанием проверить свое предположение и был вызван особый интерес В.И. Бардина к



Полевой лагерь на берегу озера Радок 9 февраля 1984 г.

результатам наших гидрологических исследований. Его участие в первый день работ на озере оказалось очень кстати, так как вес гидрологического оборудования и приборов, которые были необходимы для проведения исследований, достиг 150 кг (лебедка СП, бензиновый двигатель АБ-1, автотрансформатор, термоигла, батометры с термометрами, пешня, буры, рейки, грунтоотборник, посуда для проб воды и пр.) и лишний человек для транспортировки всего этого «гидрологического хозяйства» по льду озера был крайне необходим. Отказаться от довольно тяжелого двигателя АБ-1 было нельзя, поскольку он требовался для обеспечения электропитания термоиглы. Последняя предназначалась как для проходки скважин во льду, так и для нагревания воды в ведре, в котором находились металлические батометры перед их опусканием под воду. В противном случае батометры, переохлажденные на морозе, могли не сработать под водой из-за обмерзания. Температура воздуха к этому времени даже днем не поднималась выше -4°C , ночью опускалась до -15°C , скорость ветра южной четверти находилась в пределах $6-12$ м/с, а ночью возрастала до 15 м/с. Надо отметить, что в таких метеоусловиях снег на поверхности льда озера не задерживался и она оставалась чистой.

10 февраля весь упомянутый выше «научный груз» был закреплен на специально изготовленной из металлического листа волокуше. Втроем впрягшись в нее, преодолевая сильный встречный ветер, именуемый за свой характер «мордотык», мы шли примерно три часа по льду восточного залива озера и наконец достигли акватории основной озерной котловины, где и приступили к выполнению намеченных работ. Такой способ транспортировки приборов и оборудования по льду о. Радок между гидрологическими станциями применялся нами и в дальнейшем (11 и 12 февраля). При этом продолжительность работ на озере ежедневно составляла около десяти часов. Местоположение рабочих вертикалей определялось обратными засечками. Для бурения скважин во льду применялся ручной кольцевой бур диаметром 120 мм, а также пешня. Измерение глубин и отбор проб воды выполнялись с помощью ручной механической лебедки СП. Донные отложения отбирались самодельной грунтовой трубкой, изготовленной автором в полевых условиях на базе Союз с таким расчетом, чтобы она проходила в отверстие, пробуренное во льду термоиглой, имеющей диаметр 40 мм. При отборе проб озерной воды нам пришлось столкнуться с рядом проблем. Извлекаемые из-под воды батометры мгновенно обмерзали на морозе и с трудом открывались, стекла термометров обледеневали, затрудняя отсчет их показаний. Следует отметить, что по этой же причине «компоненты» нашего походного обеды (преимущественно в

виде жареной курятины) также успевали настолько промерзнуть, что скрипели на зубах.

Тем не менее за эти три дня на озере было выполнено 16 гидрологических станций со льда с промерами глубины, измерением общей толщины льда и толщины погруженного льда, отобрано 8 проб воды с различных горизонтов на химический анализ и 8 проб грунта для определения его минералогического и гранулометрического состава.

Результаты промеров оз. Радок нашей экспедицией в 1984 г. показали, что предположение В.И. Бардина о значительной глубине озера полностью подтвердилось. Из 16 выполненных в феврале вертикалей на трех были получены значения максимальных глубин от $345,0$ м (10 февраля) до $345,9$ и $346,3$ м (12 февраля). Таким образом, уже в первый день гидрологических работ стало очевидным, что озеро Радок является глубочайшим пресноводным водоемом Антарктиды, свой Байкал отыскался и здесь.

Сравнение полученных батиметрических данных озера Радок с данными глубочайших пресноводных озер других континентов показало, что по максимальной глубине озеро Радок занимает 9-е место на земном шаре (после таких известных озер, как Байкал, Танганьики, Ньяса, Киву, Мьеса, Комо, Верхнее и Уакатипу). Из известных внутренних водоемов Антарктиды до этого наиболее глубокими считались озера Крукватнет в оазисе Вестфолль (максимальная глубина 143 м) и Фигурное в оазисе Бангера (137 м), о которых, в числе других, можно найти сведения в монографии Е.С. Короткевича (Полярные пустыни. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 420 с.).

Разумеется, уже в период работ 29-й САЭ предполагалось, что в последующие годы при более обстоятельных исследованиях на оз. Радок к этой рекордной глубине могут добавиться новые метры. Тем более что приблизиться вплотную к предполагаемому месту с максимальной глубиной озера нам не удалось. Этому воспрепятствовала хорошо развитая полынья у западного берега озера, примыкавшая к леднику Ээтти, и тонкий лед на широкой полосе вдоль кромки полыньи.

По результатам промеров, выполненных 10–12 февраля 1984 г., была составлена первая батиметрическая схема озера в масштабе $1:100\,000$, определены предварительные морфометрические характеристики его чаши (Пискун А.А., Клоков В.Д. Гидрологические работы на эпизельфовом озере Бивер // Антарктика: Доклады МКИА АН СССР. Вып. 25. М.: Наука, 1986. С. 126–132). В летний сезон 30-й САЭ возглавляемая А.В. Уфимцевым исследовательская группа в период с 5 по 15 декабря того же 1984 г. выполнила более детальные промеры озера и «добавила» еще 16 метров к максимальной глубине. Результаты промеров 29-й САЭ, вместе с ана-



Первая батиметрическая схема оз. Радок, составленная по данным работ с 10 по 12 февраля 1984 г.

логичными данными 30-й САЭ, легли в основу батиметрической схемы оз. Радок, которая, наряду с другими материалами по гидрологии озер Бивер и Радок, была опубликована в новом Атласе Антарктики (2005 г.).

В дальнейшем результаты промеров позволили оценить запасы воды в озерной чаше. Она вмещает свыше 3 км³ пресной воды при средней глубине 150 м. Ограничителем запасов воды в озере служит река Межозерная, так как поднятие уровня озера выше определенной отметки приводит к сбросу воды из Радок на реку Межозерную в эпишельфовый водоем — оз. Бивер, максимальная глубина которого, известная сегодня, — 457 м. Озеро Бивер имеет гидравлическую связь с океаном через канал, пролегающий под эпишельфовым ледником Эймери. Эта связь подтверждается наблюдаемыми приливными колебаниями уровня озера, наличием в ледяном покрове озера приливных трещин вдоль берега и на самой акватории и присутствием соленой воды (более 1 ‰) начиная с горизонта 50 м от поверхности. При этом соленость воды скачкообразно увеличивается с 3,259 ‰ до 33,335 ‰ в слое 200–275 м. Тип приливных колебаний уровня водной поверхности, наблюдаемых на о. Бивер, является неправильным суточным. По данным самописца уровня воды, установленного на оз. Бивер в районе полевой базы Союз, в период с 19 декабря 1983 г. по 23 февраля 1984 г. максимальная величина прилива составила 2,22 м. Расчетные значения скорости движения приливной волны между озером Бивер и заливом Прудс составили около 250–290 км/ч, средней глубины канала под ледником Эймери — 450–640 м (см. Пискун А.А. Результаты исследований гидрологического режима озер в горах Принс-Чарльз (Восточная Антарктида) // Тр. V Всесоюз. гидрол. съезда. Т. 8. Л.: Гидрометеиздат, 1990. С. 109–116).

Река Межозерная, лежащая в ущелье Пагодрома, не является постоянным водотоком. Так, в период гидрологических исследований в сезон 29-й САЭ сток талых вод по ней не отмечался. Длина реки составляет около 7 км, из которых устьевой участок, протяженностью около 5 км, подвержен приливным колебаниям уровня. Об этом свидетельствует присутствие на этом участке вдольбереговых и поперечных приливных трещин.

Важным фактором формирования ледового режима на о. Радок является наличие отмеченной ранее полыньи у юго-западного берега. Она примыкала к леднику Бэтти и в период работ в сезон 29-й САЭ была достаточно хорошо развита (наибольшая ширина ее составляла около 700 м), несмотря на установившуюся круглосуточную отрицательную температуру воздуха. Более того, в этот период наблюдалось расширение ее границ, т.к. лед не выдерживал натиска сильного и постоянного ветра южной четверти, врывающегося на озеро из долины. От ледника откалывались небольшие айсберги и под воздействием постоянного и сильного ветра продвигались по полынье в направлении кромки льда. Наталкиваясь на эту преграду и тараня ее, они останавливались. Вмерзшие в озерный лед обтаявшие айсберги позволили приблизительно оконтурить границу полыньи в районе ледника Бэтти за несколько предшествующих лет. Периодически срывающиеся с поверхности полыньи вихри водяной пыли и брызг свидетельствуют о сильном перемешивании по крайней мере верхнего слоя воды в озере.

Способность к быстрому расширению полыньи ярко проявила в ночь с 10 на 11 февраля 1984 г. Если бы приборы и оборудование не были предусмотрительно перетасаны от последней гидрологической станции на льду (толщина льда составляла около 20 см), на которой закончилась работа 10 февраля, подальше от полыньи, на более толстый лед, то, придя на следующее утро, мы бы их не обнаружили, т.к. на месте бывшего льда уже плескались волны. А соблазн оставить тяжелую волокушу с приборами и оборудованием у последней лунки был немалый, поскольку запас сил к концу напряженного трудового дня уже значительно иссяк, а еще надо было пешком добраться до лагеря. И вот тут, учитывая, что направление нашего пути в полевой лагерь практически совпадает с направлением ветра, мы решили, хотя бы частично, компенсировать утренние затраты энергии на его преодоление. Встав на волокушу и крепко уцепившись за привязанную к ней веревку, мы расправили паруса, которыми нам послужили полы курток, и наш импровизированный буер понесся по льду озера. Несколько раз даже пришлось притормаживать для погашения скорости, а также корректировки направления движения.

Кроме приледниковой полыньи на оз. Радок 10–12 февраля 1984 г. отмечались закраины — полосы открытой воды вдоль берега (особенно в восточном заливе и южной части основной чаши), достаточно протяженные (несколько километров) и местами широкие (до десятка метров). Закраины образовывались вследствие суммарного отепляющего воздействия прямого и отраженного от прилегающих скал солнечного излучения.

Измеренная в период 10–12 февраля 1984 г. толщина озерного льда у края приледниковой полыньи составляла 0,2–0,3 м, а в направлении восточного берега она постепенно увеличивалась до 1,7–2,1 м. Структура льда на оз. Радок вертикально-столбчатая, ледяные кристаллы крупные, смерзшиеся в верхнем слое 15–30 см, ниже которого обширные полости между кристаллами были заполнены водой. Такая структура льда, по сравнению с монолитным льдом, способствует относительно быстрому его таянию за счет увеличенной площади контакта с водой. Бесснежная, чистая, сравнительно ровная поверхность льда была покрыта пирамидальными выступами ледяных кристаллов высотой 3–5 см.

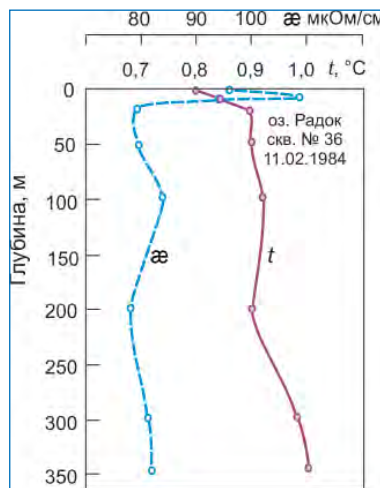
Интересной особенностью оз. Радок является то, что его дно лежит примерно на 350 м ниже уровня Ми-

рового океана, а его поверхность примерно на 7 м выше соседствующего с ним эпишельфового водоема — оз. Бивер. Учитывая это обстоятельство, не исключалась возможность сохранения в оз. Радок следов его вероятной связи с океаном в далеком прошлом в результате высокого уровня Мирового океана. Проверить такое предположение можно было по результатам гидрохимического анализа проб озерной воды, поднятой с придонных горизонтов в наиболее глубоком месте, что также было выполнено в ходе наших трехдневных исследований. Оказалось, что по своей электропроводности вода в озере близка к дистиллированной. Исследования в гидрохимической лаборатории проб воды, отобранных в наиболее глубоком месте с различных горизонтов 11 февраля 1984 г., свидетельствуют о том, что оз. Радок является аккумулятором ультрапресной воды содового состава, т.е. связь его с океаном не подтвердилась. Надо отметить, что Радок — довольно редко встречающийся тип озер на Земле. Источником соды в нем служат продукты выветривания горных пород, обрамляющих озеро.

Результаты измерения температуры воды в оз. Радок 11 февраля 1984 г. показали, что перемешивание характерно для всей водной толщи озера. Температура воды подо льдом составила 0,8 °С, на глубине 20 м она повысилась на 0,1 °С и ближе ко дну (на глубине 300—346 м) температура достигла всего 1,0 °С.

Донные осадки оз. Радок, судя по образцу, отобранному 10 февраля 1984 г. на стыке восточного залива и основной чаши с глубины 100 м, представлены алевритом буровато-темно-серым, разнозернистым, песчаным (20 %), глинистым (20 %), известковистым (лабораторные анализы выполнены в ПГО «Севморгеология», их описание составлено М.М. Поляковым). В состав донных осадков входили зерна кварца (доминировали), калиевые полевые шпаты, резе глаукоклазы, слюда (биотит, хлорит, мусковит). Спектральный анализ показал несколько повышенное, по сравнению с близлежащим эпишельфовым озером Бивер, содержание кобальта, галлия, цинка, иттрия и скандия. Только в пробе оз. Радок обнаружен литий, что свидетельствует о происходящей здесь интенсивной эрозии архейских отложений.

В сезон 49-й РАЭ (23 января — 15 марта 2004 г.) гидрологические исследования оз. Радок были продолжены хорошо экипированным отрядом под руководством В.Л. Кузнецова. Работы включали в себя детализацию наших промеров, определение гидрофизических параметров воды, отбор колонок донного грунта, ледовые наблюдения. Впервые были взяты пробы на молекулярно-биологический анализ. На берегу озера в районе лагеря полярники установили уровенный пост, закрепленный репером, что заложило основу для работ по оценке водного баланса озера в последующем. Реперы также были установлены по всему периметру озера. В период работ отслеживалась и картировалась миграция границ приледниковой польня (с 23 января по 9 марта), площадь которой, в сравнении с периодом работ 29-й САЭ (с 10 по 12 февраля 1984 г.), была в несколько раз боль-



Распределение температуры (t) и удельной электропроводности (ϵ) воды по глубине в озере Радок по результатам работ 29-й САЭ.

ше и в период максимального развития составляла четверти от площади основной озерной чаши.

Далее, в период с 5 января по 21 февраля 2005 г., уже в сезон работы 50-й РАЭ на оз. Радок, наряду с промерными работами и измерением толщины льда (начальник исследовательского отряда — А.И. Куцуруб), гидробиологом М.П. Андреевым были выполнены широкомасштабные микробиологические исследования. Микроскопический анализ проб воды оз. Радок показал присутствие в них бактериопланктона и фитопланктона. В пробе воды с глубины 150 м была обнаружена хорошо сохранившаяся нога рачка, а на глубине 200 м — остатки еще нескольких организмов зоопланктона.

Наблюдения за уровнем воды озера показали, что за период с 18 января по 20 февраля 2005 г. уровень упал на 11 см. Было засвидетельствовано хорошее состояние репера уровенного поста и выполнено спутниковое определение координат тринадцати береговых реперов по периметру озера в системе WGS-84.

Особенностью ледового режима оз. Радок в период работ 50-й РАЭ явилось то, что толщина льда повсеместно оказалась на 50–60 см мощнее значения, отмечавшегося в предыдущий сезон, лед не был взломан, а польня у ледника Бэтти отсутствовала, хотя максимальная скорость ветра, зарегистрированная в лагере, достигала 26 м/с (17 февраля).

При выполнении батиметрических съемок в центральной части озера 11 февраля 2005 г. на одной из гидрологических станций с координатами 70°51'38,1" ю.ш., 67°58'43,1" в.д. была зафиксирована глубина 367,5 м. Это наибольшая глубина оз. Радок, известная на сегодняшний день. Будущие детализированные промеры, возможно, дадут новый максимальный результат, что только подтвердит главное — озеро Радок является глубочайшим из открытых на сегодняшний день пресных водоемов Антарктиды.

Что касается исследований оз. Радок учеными других стран, то приоритет в них отдавался вопросам седиментации и изотопного анализа. Более подробные сведения о работах на о. Радок, выполненных отечественными и зарубежными исследователями, можно найти в монографии (Сократова И.Н. Антарктические оазисы. История и результаты. СПб.: ААНИИ, 2010. 274 с.), посвященной истории и результатам исследований антарктических оазисов. Конкретные научные результаты выполненных работ на оз. Радок приведены в различных публикациях отечественных исследователей, указанных в данной статье, а также в архивных источниках Гидрометфондов ААНИИ.

Глубочайшее пресноводное озеро Антарктиды Радок заслуживает того, чтобы быть поименованным и в учебниках географии. Внимание ученых будет обращено к нему еще долгие годы.

А.А. Пискун (ААНИИ).
Фото автора