

Д. Е. Аюнов, А. А. Кальяк, С. А. Казанцев*

Выявление аномалий теплового режима в придонном слое осадков

Институт нефтегазовой геологии и геофизики СО РАН, г. Новосибирск,
Российская Федерация
* e-mail: ayunovde@ipgg.sbras.ru

Аннотация. Исследуется температурный режим донных осадков на глубинах озера до 300 метров. Задача работы состоит в поиске способов выделения аномальной глубинной составляющей теплового потока в приповерхностном слое донных осадков на фоне влияния сезонных колебаний температуры по эмпирическим данным. Получено детальное распределение с глубиной характеристик температурного режима на границе вода-придонный слой осадков озера Байкал.

Ключевые слова: донные осадки, температурный режим, температурный зонд

D. E. Ayunov, A. A. Kalyak, S. A. Kazantsev

Identification of anomalies of a thermal regime in a bottom sediment layer

Institute of Petroleum Geology and Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russian Federation
e-mail: ayunovde@ipgg.sbras

Annotation. The temperature regime of bottom sediments at lake depths of up to 300 meters is being investigated. The objective of the work is to find ways to identify the anomalous deep component of the heat flow in the near-surface layer of bottom sediments in the coastal zone against the background of the influence of seasonal temperature fluctuations according to empirical data. Detailed distribution with depth of the characteristics of the temperature regime at the water-bottom sediment layer boundary zone of Lake Baikal has been obtained.

Keywords: bottom sediments, temperature regime, temperature probe

Введение

Задачей исследования является поиск способа выявления аномалий температурного поля на общем фоне геотермической обстановки донных отложений глубоких озер. Подход основан на предположении, что в тектонически активных районах на температурное поле придонного слоя осадков могут оказывать влияние процессы, связанные с зонами разломов в осадочном чехле и кристаллическом фундаменте. Для проверки предположения проведены полевые работы на оз. Байкал по температурному профилированию придонного слоя осадков участка прибрежной зоны.

Методика исследований

Работы проводились по классической методике с использованием модернизированного зонда-термографа, ранее успешно использовавшегося в задачах мониторинга температуры придонного слоя осадков Телецкого озера [1]. Автономный зонд-термограф на тросе в свободном падении внедрялся в осадки. Термограф состоит из герметичного контейнера с цифровым регистратором, металлической заостренной штанги, системы термодатчиков, расположенной в тонкой трубке, вынесенной за пределы штанги на расстояние 4-5 см. Общий вид погружной установки с зондом приведен на рис.1.

В качестве датчиков использовались полупроводниковые термисторы, чувствительность по температуре составляла 0.001 °С, точность определялась возможностями калибровки и была равна 0.01 °С. В настоящем исследовании использовался термограф с системой из 7-ми датчиков расположенной в полутора-метровой трубке с шагом 0.25 м. Частота опроса во время измерений составляла 1 раз в секунду, что позволяло достаточно детально отслеживать процесс стабилизации температурного режима зонда после внедрения его в осадки. Методика геотермических исследований в озерах и водоемах с помощью термографа подробно описана в [2,3] и состоит в следующем. Термограф на стальном тросе в свободном падении под действием собственного веса (около 40 кг) погружает измерительный стержень с температурными датчиками в верхний слой осадков. После погружения зонд выстаивается в течение от 10 до 15 минут – время, требуемое для восстановления нарушенного в результате разогрева среды и датчиков температурного равновесия. После выдержки в донных осадках, термограф механической лебедкой поднимается на поверхность для считывания полученной информации. Помимо датчиков температуры термозонд снабжен трехкомпонентным акселерометром, с помощью которого анализируется процесс погружения и внедрения зонда в осадки и определяется угол внедрения, что дает возможность выделить именно вертикальную составляющую температурного градиента.

Особенность исследуемого района состоит в неоднородности донных отложений, состоящих из перемежающихся участков илов, рыхлых и плотных, песков и грубообломочного материала (мелкая галька). Плотность и тип донных отложений определял возможность и степень внедрения зонда в осадки. На участках, сложенных грубообломочным материалом и крупнозернистым песком, измерения отсутствуют.

Работы проводились в весенний период со льда с помощью механизированной лебедки (рис. 1) по профилю вдоль берега на расстоянии около 1-2 км от суши. Длина профиля составила 10 км. Шаг измерений вдоль профиля в среднем составлял 0.3 км.

В целом при анализе полученных данных рассматривались следующие критерии выявления аномальных участков, которые потенциально могут быть обусловлены гидротермальными процессами: температура придонного слоя воды, температура приповерхностного слоя осадков (до 0.25 м), температура на глу-

бине 1.5 м, температурный градиент. Однако, в данной статье приводится только температурный разрез придонного слоя осадков мощностью до 1,5 метров на 7-ми глубинных горизонтах 0 м; 0.25 м; 0.50 м; 0.75 м; 1.00 м; 1.25 м и 1.50 м, а также послойный температурный градиент. Для анализа отобраны преимущественно пункты, где погружения зонда в осадки было полным, а его внедрение практически вертикальным.



Рис. 1. Установка для погружения зонда-термографа со льда (в стартовом рабочем положении и общий вид)

Результаты и анализ

Результаты измерений температуры илов по геотермическому профилю приведены на рис. 2. По измеренным температурам были вычислены послойные температурные градиенты на дискретных вертикальных интервалах (рис. 3).

По полученным данным можно отметить характерное общее повышение температуры придонного слоя с глубиной. Очевидно, что это эффект продолжающегося в весенний период сезонного охлаждения верхней толщи осадков, затухающий с глубиной. Эффект проявляется в значительно большем температурном градиенте в относительно неглубоких пунктах. Отметим, что по данным В.А. Голубева на Байкале сезонный эффект распространяется до глубины около 500 м [4].

Можно отметить, что параметр температуры осадков на глубине 1.5 м для пунктов в исследуемом интервале глубин озера 120-250 м растет с глубиной озера с трендом примерно в $0.14\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ м}$. В соответствующих интервалах глубин отмечены пара пунктов (один из них не входит в приведенный на рисунках профиль) с более высокой температурой (на $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$): 3.70 и $3.56\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Значения градиента в интервалах ниже 1.0 м в основном лежат в диапазоне $0.11\text{-}0.19\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$, причем это значение четко коррелируют с глубиной дна озера.

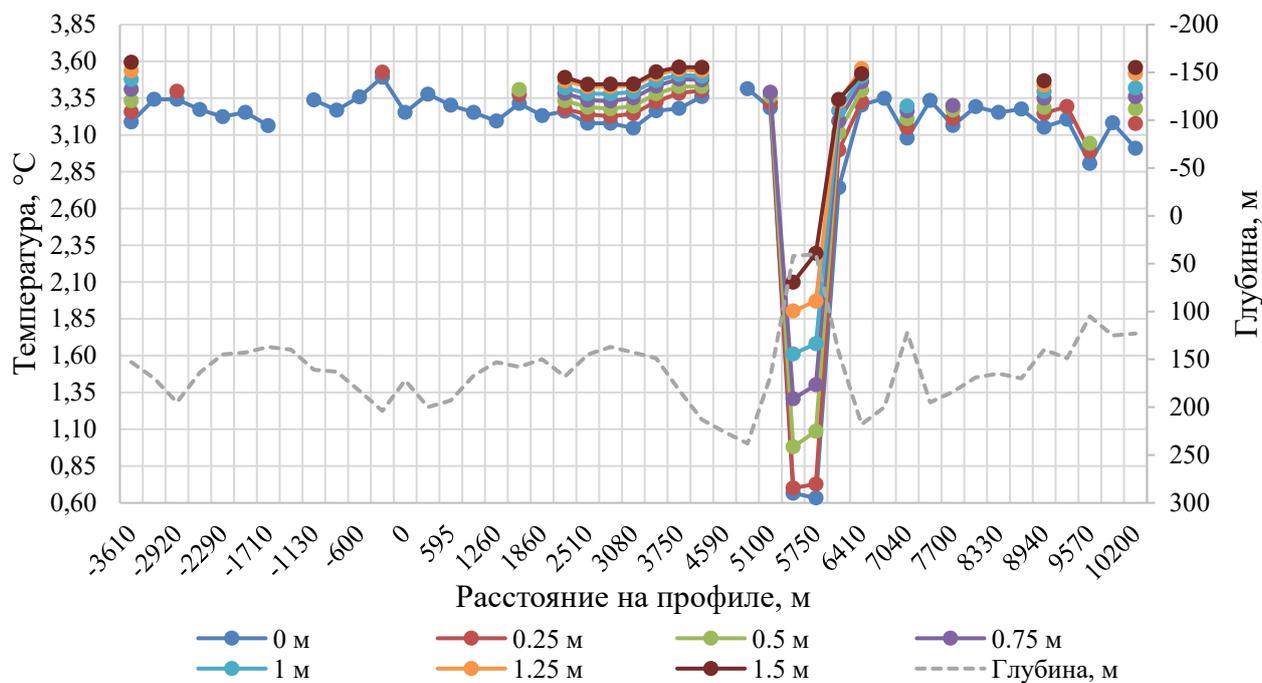


Рис. 2. Температура придонного слоя осадков оз. Байкал в весенний период по пунктам профиля длиной около 10 км (пунктирная линия – топография рельефа дна)

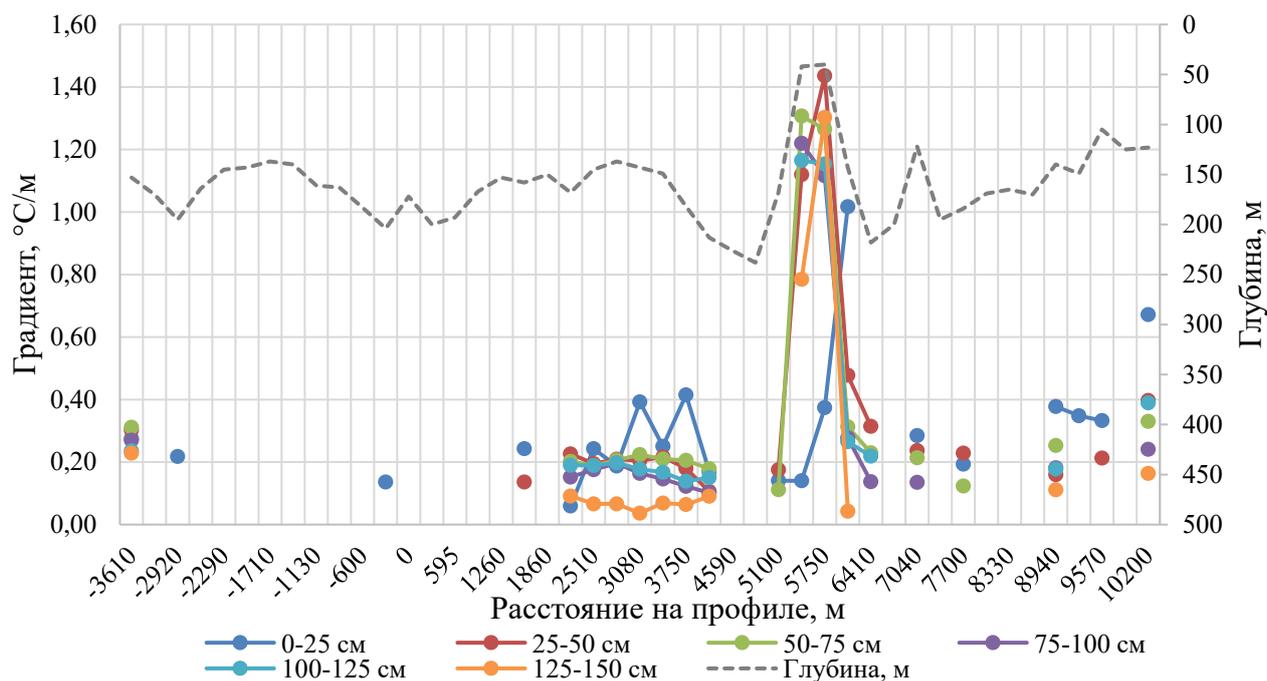


Рис. 3. Послойные температурные градиенты в придонном слое осадков оз. Байкал в весенний период по пунктам профиля длиной около 10 км (пунктирная линия – топография рельефа дна)

Высокие значения градиента, до $1.25\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$ в пунктах в районе 5.5 км (рис. 2), относящиеся к глубинам 40-42 м, обусловлены исключительно сезонным контрастом температуры осадков и охлажденной ниже $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ верхней толщи воды.

Отдельные проанализированные пункты значительно выделяются по градиенту (в 1.5-2 раза) относительно значений основной массы пунктов. На одном из таких пунктов с градиентом $0,399\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$, находящемся на другом участке, не представленном на графике, была произведена попытка оконтурить обнаруженную «аномалию», для чего были произведены дополнительные четыре погружения зонда на расстояниях 100 м от пункта по линиям перпендикулярной и параллельной берегу. Однако полученные значения температур и градиентов не отличались от общего фона на этих глубинах. Что может говорить о локальном, достаточно «точечном» характере обнаруженной в этом пункте особенности температурного поля придонных осадков.

Пункт, с которого начинается приведенный профиль (самый левый на рис. 1 и 2) имеет относительно высокий градиент $0.270\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$. Во-первых, можно отметить, что здесь определенно играет роль сезонная составляющая, поскольку мы фиксируем и более низкую температуру непосредственно на поверхности донных осадков. Во-вторых, на данном участке по ряду признаков донные отложения сложены или покрыты очень рыхлым полувзвешенным материалом (предположительно остатками органики). Надо полагать, более высокий градиент в этом пункте обусловлен более низкой теплопроводностью данных отложений.

Заключение

В целом силу многофакторности формирования геотермического поля придонного слоя осадков, с которой столкнулись авторы, интерпретация результатов геотермических исследований при выявлении эндогенной составляющей теплового процесса требует комплексного анализа, в частности учетом факторов неравномерности сезонного эффекта с глубиной, неоднородности донных отложений, сложного и контрастного рельефа в месте исследования, влияния руслового стока близлежащих рек и т.д.

При анализе данных по какому-либо критерию оценку «аномальной» эндогенной тепловой составляющей необходимо рассматривать в относительных характеристиках к среднему «фону» значений каждого отдельного интервала глубин.

Более детальное исследование в районе одного обнаруженного пункта с повышенным значением температурного градиента говорит о локальном, достаточно «точечном» характере обнаруженной в этом пункте особенности температурного поля придонных осадков.

Малоглубинные исследования температурных параметров придонного слоя осадков с помощью температурного зондирования могут быть предложены в качестве способа выявления аномалий, обусловленными теми или иными эндогенными процессами.

Благодарности

Исследование поддержано проектом FWZZ 2022-0019 Госзадания.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дучков А. Д., Казанцев С. А. Аномальные изменения температурного режима дна (воды и осадков) Телецкого озера в осенне-зимний период // Геология и геофизика. – 2007. – Т. 48. – № 12. – С. 1366-1370.
2. Дучков А. Д., Казанцев С. А., Голубев В. А., Лысак С. В., Хайковский Э. С. Тепловой поток в пределах озера Байкал // Геология и геофизика. – 1976. – №4. – С. 112-121.
3. Дучков А. Д., Казанцев С. А., Голубев В. А., Лысак С. В. Геотермические исследования на озере Байкал // Геология и геофизика. – 1977. – №6. – С. 126-130.
4. Голубев В. А. Геотермия Байкала. – Новосибирск : Наука, 1982. – 150 с.

© Д. Е. Аюнов, А. А. Кальяк, С. А. Казанцев, 2024