

**ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ ДЛЯ ЭКОЛОГИИ,  
МЕДИЦИНЫ, БИОЛОГИИ**

УДК 550.837.21

**МНОГОКАНАЛЬНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ  
ГИДРОЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ, ВОЗНИКАЮЩИХ  
ПРИ НАБЕГАНИИ ВОЛН НА БЕРЕГОВУЮ ЛИНИЮ ОЗЕРА БАЙКАЛ**

© 2023 г. Ю. Б. Башкуев<sup>а</sup>, Д. Б. Аюров<sup>а</sup>, А. Д. Шунков<sup>а,\*</sup>

<sup>а</sup>Институт физического материаловедения СО РАН  
Россия, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6

\*e-mail: timofe37@yandex.ru

Поступила в редакцию 28.07.2022 г.

После доработки 03.10.2022 г.

Принята к публикации 06.10.2022 г.

На береговой линии оз. Байкал, вблизи с. Горячинск, проведены испытания установки для исследования взаимосвязи между волновыми гидродинамическими и электрическими процессами. Рассмотрены аппаратура и методика измерений. Представлены результаты измерений при различных условиях волнового процесса. Физика явления относится к классу гидроэлектрокинетических эффектов. Фильтрационное естественное электрическое поле связано с движением набегающей байкальской волны в пористом песке. При движении пресной воды в пористой среде образуется электрическое поле.

DOI: 10.31857/S0032816223020040, EDN: UXMPQP

**ВВЕДЕНИЕ**

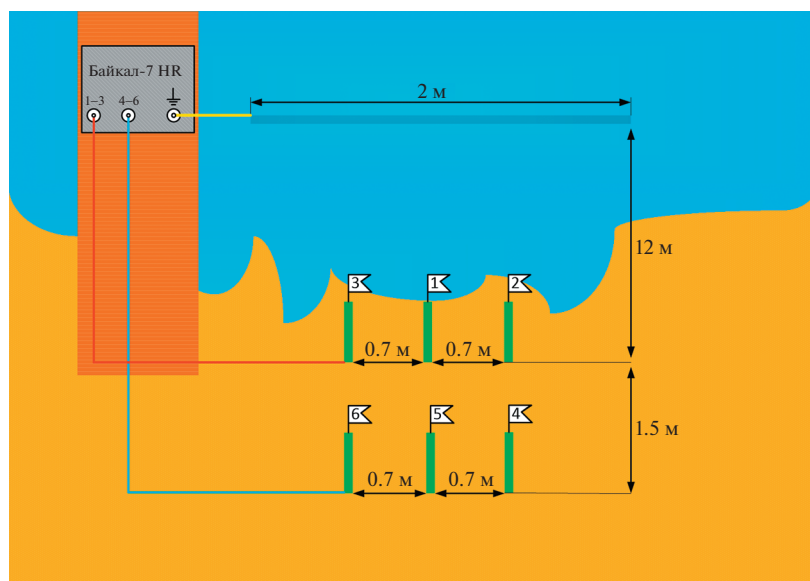
В весенне-осенний и летний периоды года на береговой линии пресноводного оз. Байкал наблюдаются различные гидродинамические явления, характерные для больших акваторий. В штормовую погоду высота волн достигает 1–1.5 м и более. Эти волны при накатывании на песчаные пляжи вызывают различные физические процессы и явления. С движением воды в пористых средах связано появление естественного электрического (фильтрационного) поля. Такие поля широко распространены в природе и могут быть измерены методом естественного поля [1]. Нас заинтересовало взаимодействие гидродинамических и электромагнитных явлений при набегаии волн на береговую линию песчаных пляжей оз. Байкал. В 2017–2021 гг. на песчаной береговой

линии оз. Байкал у с. Горячинск проведены эксперименты по исследованию физики гидроэлектродинамического эффекта [2].

Фильтрационные поля относятся к классу электрокинетических явлений, открытых профессором Московского университета Фердинандом Фридрихом Рейссом в 1809 г. в Москве [3, 4]. Сами фильтрационные поля известны в физике и физической химии под названием “потенциалы течения” или “потенциалы протекания” [3, 4]. Когда жидкость движется в пористой среде, в ней образуется электрическое поле. На границе сухого песка (непроводящей среды) с жидкостью в капиллярах образуется двойной электрический слой в результате взаимодействия твердой и жидкой фаз. Возникает задача измерения разности потенциалов (напряжения) естественного элек-

**Таблица 1.** Характеристики регистратора “Байкал-7HR”

Параметр	Значение
Разрядность АЦП	24 бита
Тип входа канала	6 дифференциальных каналов, 44 кОм, 4700 пФ
Частота дискретизации	50, 100, 200, 500, 1000, 2000 Гц
Динамический диапазон и энергопотребление	±2.5 В; 1.2 Вт (запись), 0.6 Вт (в режиме ожидания) при 12 В
Стабильность внутреннего генератора	±2 · 10 <sup>-7</sup>
Точность синхронизации	±1 мкс



**Рис. 1.** Схема 6-канальной измерительной установки для регистрации гидроэлектродинамического (электрокинетического) фильтрационного эффекта.

трического (фильтрационного) поля. Для ее решения нами предложена, разработана и введена в эксплуатацию многоканальная установка для наблюдения электрического поля электрокинетической природы, генерируемого волнами на береговой линии оз. Байкал.

Возбуждение электрокинетических эффектов на дне морского мелководья поверхностными

волнами рассмотрено в работах [5–7]. Возможность оценки свойств земной коры по наблюдениям электрического поля электрокинетической природы, генерируемого приливными деформациями в зоне разрывного нарушения, рассмотрена в работе [8]. Особенность нашего исследования состоит в том, что исследование электрокинетического эффекта проведено впервые на крупном пресноводном оз. Байкал.



**Рис. 2.** Конфигурация размещения измерительных электродов на песчаном пляже береговой линии озера Байкал.

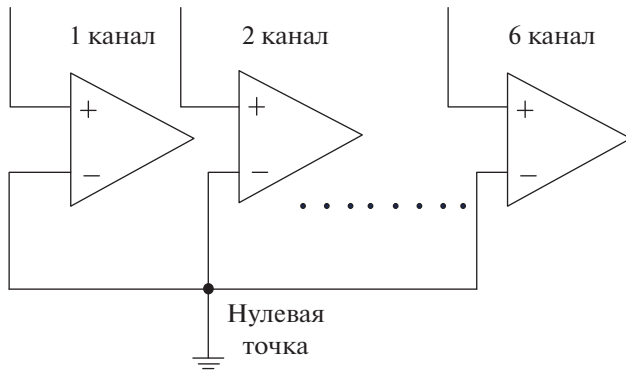


Рис. 3. Схема коммутации инверсных входов измерительных каналов.

### АППАРАТУРА И МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЙ

В качестве экспериментальной площадки для полевых испытаний многоканальной установки был выбран песчаный берег оз. Байкал вблизи с. Горячинск. Аппаратура должна установить количественную связь между волновыми гидродинамическими и электрическими процессами на береговой линии оз. Байкал. Для измерения естественных электрических полей и обеспечения наблюдений его пространственно-временных изменений аппаратура должна иметь более одного регистрирующего канала и общую синхронизацию временных процессов по всем каналам. Таким требованиям отвечает многоканальный геофизический регистратор “Байкал-7HR” [9], имеющий

шесть независимых каналов. Встроенный GPS-модуль обеспечивает стабильность работы тактового генератора и получение точного времени. Основные характеристики прибора приведены в табл. 1.

Измерительная установка испытана в августе 2021 года. На рис. 1 представлена схема экспериментальной установки для регистрации гидроэлектродинамического эффекта. Шесть электродов заземлены по указанной геометрии в песчаный грунт берега и периодически заливаются водой.

Регистратор “Байкал-7HR”, установленный на пирсе, измеряет разность потенциалов между погруженным в воду стальным шестом длиной 2 м и диаметром 12 мм и шестью разнесенными в пространстве электродами. Расстояние между первым рядом электродов и заводненным шестом составляет 12 м. Данная схема установки измерительных электродов соответствует геофизическому методу естественного поля [3].

В качестве измерительных электродов используются полые медные трубки диаметром 12 мм и длиной 300 мм (рис. 2). На электроды нанесены насечки с шагом 50 мм для контроля уровня заглубления. Коммутация электродов и регистратора осуществляется с помощью провода марки ШВВП 3 × 0.75, к одному концу которого припаян кольцевой наконечник для подключения к измерительным электродам, а на другом конце установлен разъем 2PM22КПН10Г1В1 для подключения к регистратору. Питание регистратора

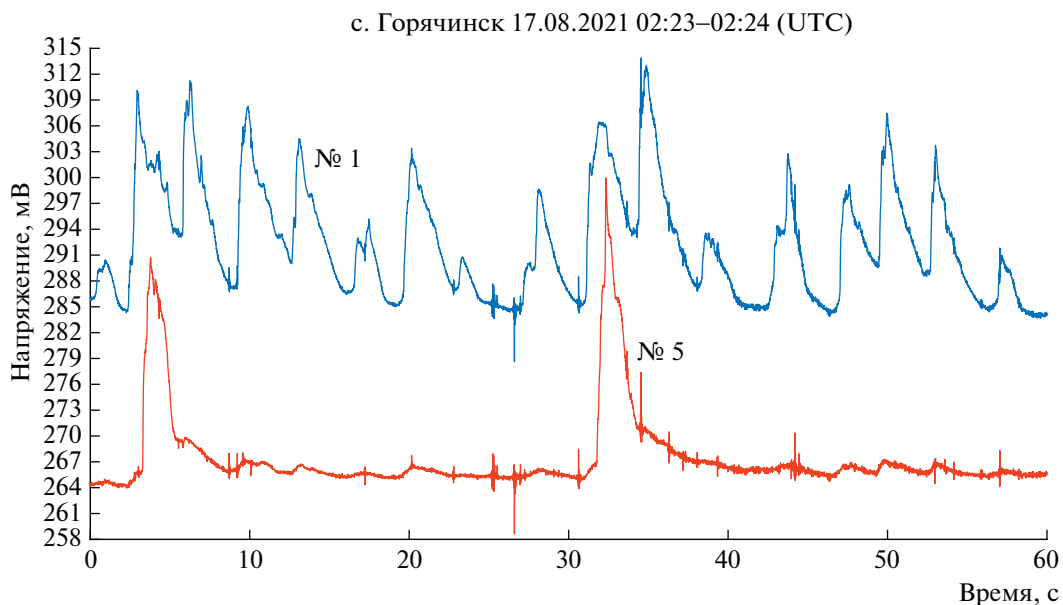
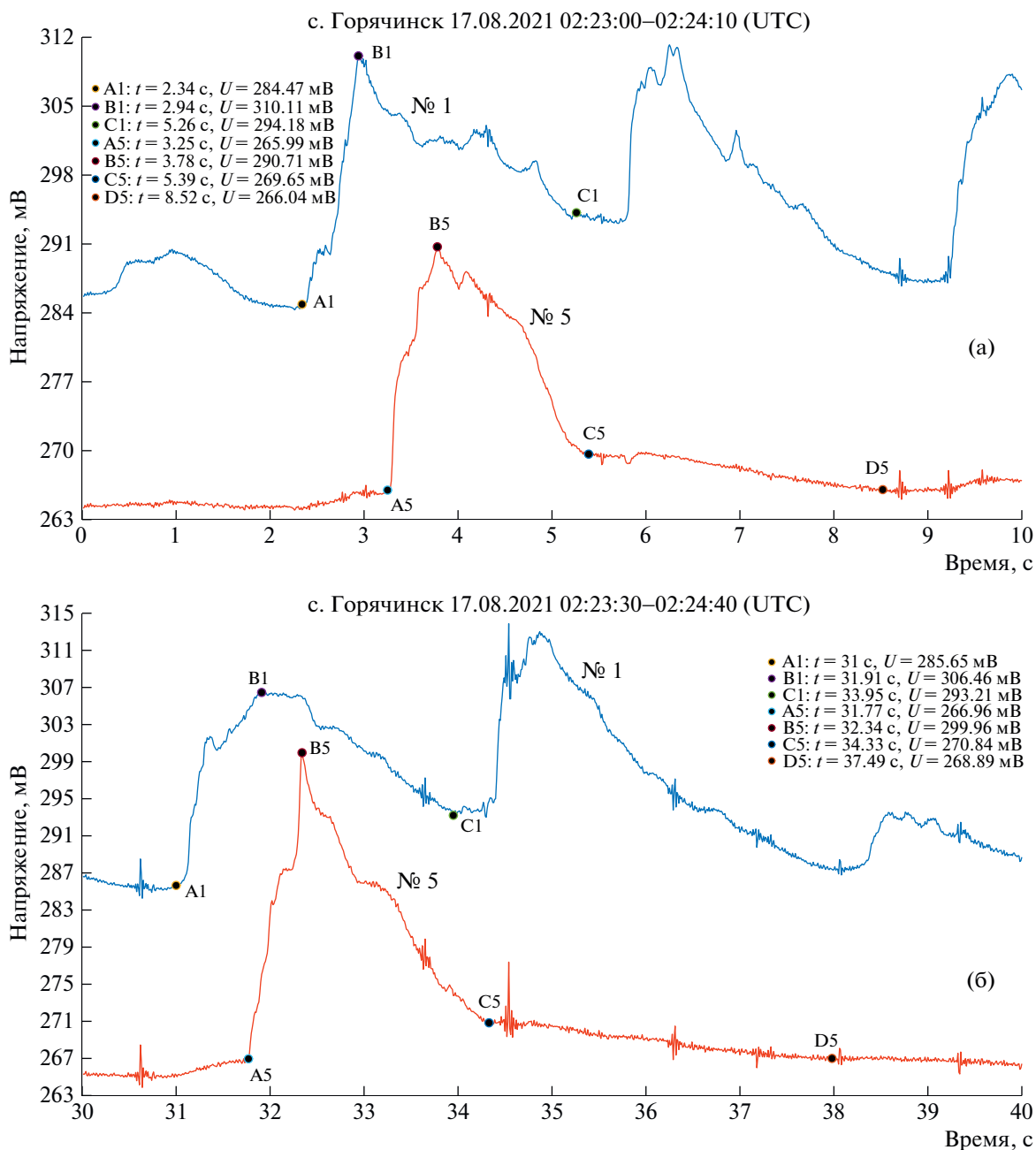


Рис. 4. Изменения разности потенциалов  $\Delta U$ , полученной с электродов № 1 и № 5 в течение 60-секундного интервала во время среднего по силе волнения на оз. Байкал 17.08.2021 г. (разнос между электродами 12–13.5 м).



**Рис. 5.** Изменения разности потенциалов  $\Delta U$ , полученной с электродов № 1 и № 5 в течение 10-секундных интервалов: а – 0–10 с, б – 30–40 с – во время среднего по силе волнения на озере Байкал 17.08.2021 г. (разнос между электродами 12–13.5 м).

осуществляется от 12-вольтовой аккумуляторной батареи через разъем 2PM18КПН7Г.

В процессе отработки метода в полевых условиях с целью удобства использования схема коммутации в разьеме 2PM22КПН10Г1В1 была изменена так, что все инверсные входы каналов были объединены в один узел. Этот узел принимался за “нулевую точку” (рис. 3), относительно которой измерялось напряжение.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ И ИХ АНАЛИЗ

На рис. 4 представлена динамика волнового гидродинамического процесса на 60-секундном интервале (разность потенциалов  $\Delta U$ ) во время среднего волнения, 2–3 балла.

На рис. 5а, 5б показаны изменения разности потенциалов  $\Delta U$  в интервалах времени 0–10 с (рис. 5а) и 30–40 с (рис. 5б), полученной с элект-

тров № 1 и № 5 во время среднего по силе волнения на оз. Байкал 17.08.2021 г.

Передний фронт импульсного процесса характеризует накатывание волны на пологий, относительно сухой берег. Процесс покрытия водой электрода № 1 (см. рис. 5а) длится примерно 0.6 с. Амплитуда импульса достигает 25 мВ. Передний фронт на электроде № 5 длится 0.53 с, а его амплитуда равна 24.7 мВ. На рис. 5а амплитуда переднего фронта волны на электроде № 5 достигает 33 мВ. Стеkanie воды с электрода № 5 продолжается примерно 5.5–7.5 с. Процесс стекания можно разбить на две фазы: 1) быстрое стекание (точки В5–С5) длительностью примерно 2 с и 2) медленное стекание (точки С5–D5) длительностью 4–6 с, в котором участвует весь объем песчаного грунта на глубину погружения электродов 150 мм.

Минимумы импульсного процесса соответствуют времени, когда электроды № 1–6 не покрыты водой. На всех каналах волнового процесса видны резкие синхронные импульсы, порожденные молниевыми разрядами. Они служат временными реперными точками. По задержке импульсов и расстоянию между электродами можно определить скорость фронта волны. Так, на рис. 5а скорость набегающей волны по контрольным точкам А1 и А5 равна 1.65 м/с, по точкам В1, В5 – 1.76 м/с.

В эксперименте 2021 г. применена новая геометрия установки. Электроды № 4, № 5 и № 6 установлены параллельно электродам № 1 и № 2 на линии с электродом № 3 на расстоянии 1.5 м. Образуется некоторая “решетка” электродов, позволяющая определять направление фронта байкальской волны. Отработана новая методика 6-канальной регистрации гидродинамического процесса при расположении “нулевой точки” регистратора “Байкал-7HR” под водой на расстоянии 12–13.5 м от берега. Предложена новая геометрия установки электродов. Физика явления относится к классу гидроэлектродинамических (электрокинетических) эффектов [4, 5]. Пере-

мение зарядов жидкостью эквивалентно течению некоторого тока  $I$ . Новизна и практическая значимость работы состоит в том, что впервые обнаружен гидроэлектродинамический эффект на береговой линии оз. Байкал, который может быть использован при разработке аппаратуры для оценки параметров волновых гидродинамических процессов в больших пресноводных водоемах.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена по госбюджетному проекту “Развитие фундаментальных основ распространения СНЧ-СДВ-ДВ-СВ и УКВ-радиоволн в неоднородных импедансных каналах” (0270-2021-0004).

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенов А.С. Электроразведка методом естественного электрического поля. Л.: Недра, 1980.
2. Bashkuev Yu.B., Auyrov D.B., Buyanova D.G. // 24th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics. Proceedings of SPIE 10833. 2018. <https://doi.org/10.1117/12.2504549>
3. Григоров О.Н. Электрокинетические явления: курс лекций Ленингр. гос. ун-та им. А.А. Жданова. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1973.
4. Карбаинова С.Н., Пикула Н.П., Анисимова Л.С., Катюхин В.Е., Романенко С.В. Поверхностные явления и дисперсные системы. Томск: Изд. ТПУ, 2000. С. 65–81.
5. Егоров И.В., Пальшин Н.А. // Океанология. 2015. Т. 55. № 3. С. 461.
6. Пальшин Н.А., Яковлев Д.В., Яковлев А.Г., Егоров И.В., Гераскин А.И. // XVIII Международная научная конференция (школа) по морской геологии. М.: ГЕОС, 2009. Т. 5. С. 105.
7. Сергеев В.А., Шарфарец Б.П. // Научное приборостроение. 2018. Т. 28. № 2. С. 25.
8. Алексеев Д.А., Гохберг М.Б. // Физика Земли. 2018. № 3. С. 106.
9. Seismic Signal Recorder Baykal-7HR. Technical manual”. 2011. [http://sensors.ru/1\\_products/Manuals/BY-7hr\\_Manual\\_en.pdf](http://sensors.ru/1_products/Manuals/BY-7hr_Manual_en.pdf) (07 June 2018)