

**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^а, Д. Б. Аюров^а, А. Д. Шунков^{а,*}

^аИнститут 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 набегаании 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 ⁻⁷
Точность синхронизации	±1 мкс

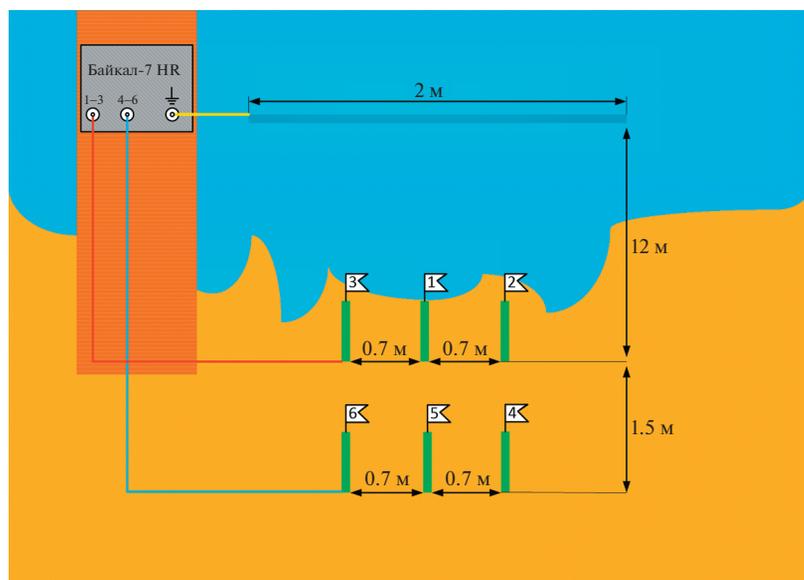


Рис. 1. Схема 6-канальной измерительной установки для регистрации гидроэлектродинамического (электрокинетического) фильтрационного эффекта.

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.

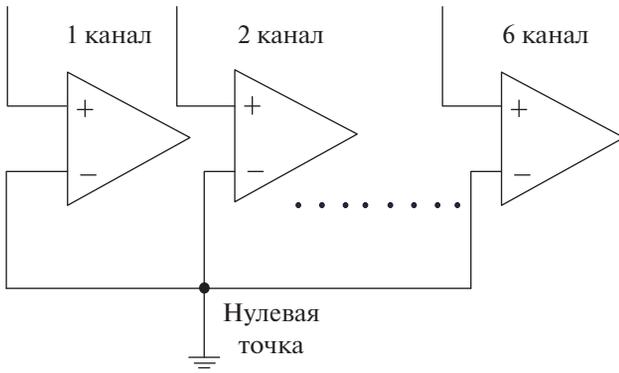


Рис. 3. Схема коммутации инверсных входов измерительных каналов.

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

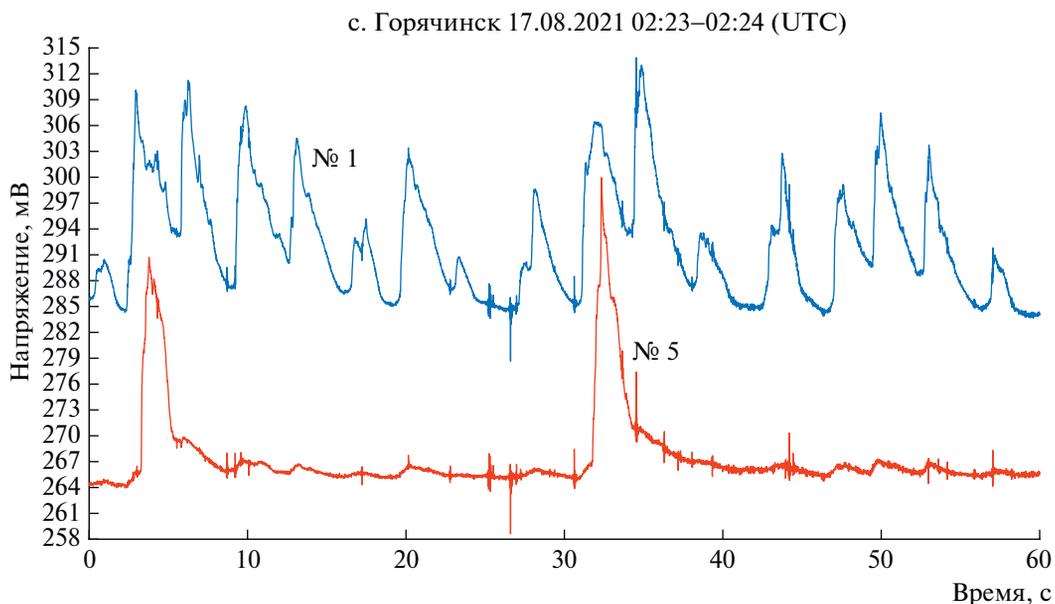


Рис. 4. Изменения разности потенциалов ΔU , полученной с электродов № 1 и № 5 в течение 60-секундного интервала во время среднего по силе волнения на оз. Байкал 17.08.2021 г. (разнос между электродами 12–13.5 м).

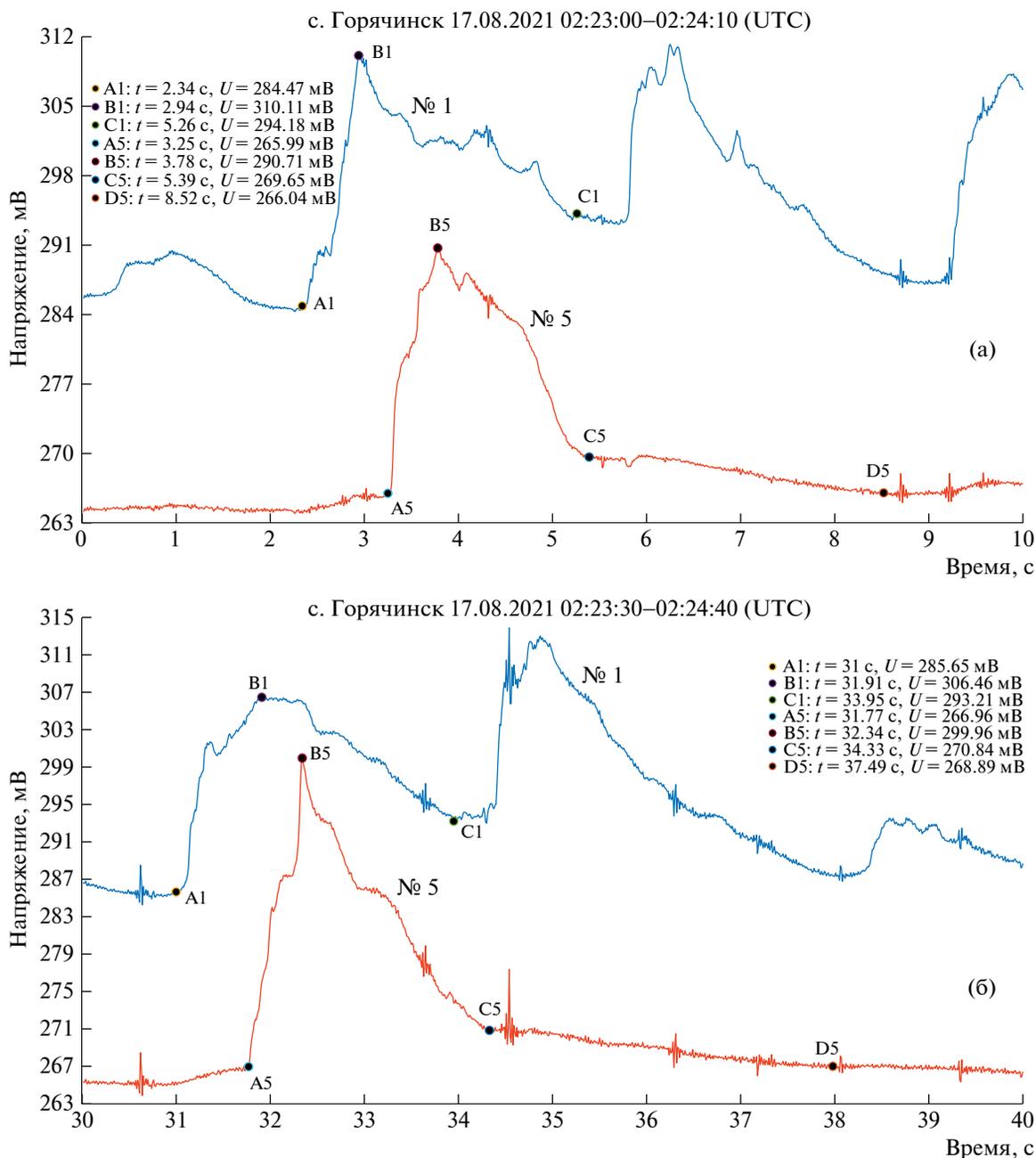


Рис. 5. Изменения разности потенциалов ΔU , полученной с электродов № 1 и № 5 в течение 10-секундных интервалов: а – 0–10 с, б – 30–40 с – во время среднего по силе волнения на озере Байкал 17.08.2021 г. (разнос между электродами 12–13.5 м).

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 ΔU) во время среднего волнения, 2–3 балла.

На рис. 5а, 5б показаны изменения разности потенциалов ΔU 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 (07 June 2018)