

Министерство образования и науки Российской Федерации
Томский государственный университет

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАДИОФИЗИКИ

*VII Международная научно-практическая конференция
г. Томск, 18–22 сентября 2017 г.*

Сборник трудов

УДК 537.86; 621.38.01:53; 621.396.67; 621.372.8;
621.3.029.6; 621.396.91/.96; 535.14;
535.33:621.373.8

A 43

A 43 **Актуальные проблемы радиофизики : VII Международная научно-практическая конференция, г. Томск, 18–22 сентября 2017 г. Сборник трудов. – Томск : STT, 2017. – 314 с.**

ISBN 978-5-93629-606-2

Статьи, представленные в сборнике, являются печатными вариантами докладов участников VII Международной научно-практической конференции "Актуальные проблемы радиофизики 2017", проходившей в Томском государственном университете 18-22 сентября 2017 г. на базе радиофизического факультета и ЦКП "Центр радиофизических измерений, диагностики и исследования параметров природных и искусственных материалов" ТГУ. Доклады отобраны Программным комитетом конференции.

Сборник представляет интерес для специалистов в области радиофизики, радиоэлектроники, оптики, твердотельной электроники и электромагнитной совместимости.

**УДК 537.86; 621.38.01:53; 621.396.67; 621.372.8;
621.3.029.6; 621.396.91/.96; 535.14;
535.33:621.373.8**

Редакционная коллегия:

Войцеховский А.В.

Гермогенов В.П.

Дунаевский Г.Е.

Колесник С.А.

Самохвалов И.В.

Сусяев В.И. (ответственный редактор)

Якубов В.П.

ISBN 978-5-93629-606-2

© Томский государственный университет, 2017
© Оформление, макет. STT™, 2017

УДК 519.2: 537.226

В.И. СУСЛЯЕВ, В.А. ЖУРАВЛЕВ*, Е.Ю. КОРОВИН*, А.С. ТРЕТЬЯКОВ*, В.В. СУСЛЯЕВ*****ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ НЕКОТОРЫХ РЕК И РУЧЬЕВ
ЗАПАДНОЙ СИБИРИ¹**

Электропроводность воды рек, ручьев, озер и болот исследуется с целью получения информации для: оценки кратковременных и долгосрочных климатических изменений; выявления геохимических характеристик подстилающих пород; контроля экологического состояния конкретного региона; определения благоприятных условий жизнедеятельности водных биологических объектов; оценки состояния вечномерзлотных образований в арктической и субарктической зонах. Дано описание разработанных авторами приборов, которые применялись для измерения. Приведены величины электропроводности некоторых рек, ручьев и озер Западной Сибири в меридиональном направлении от Ямало-Ненецкого автономного округа до Республики Алтай.

Ключевые слова: удельная электропроводность, мониторинг, радиофизические методы контроля, природные водоисточники, экология, нерегулярный микрополосковый резонатор.

ВВЕДЕНИЕ

Регион Западной Сибири, обладающий огромными водными запасами, которые сосредоточены в Обь-Иртышском бассейне, в Васюганском болоте, является климатообразующей областью Земли. Мониторинг геохимического состояния природных водоисточников: рек, ручьев, озер и болот является актуальной задачей. Информация, получаемая в результате такого контроля, имеет важное значение для формирования научной базы, необходимой для достоверного прогнозирования кратковременных и долгосрочных климатических изменений. В числе наиболее значимых геохимических показателей находится электропроводность водной среды, которая: отражает характер взаимодействия воды рек и ручьев с подстилающими породами [1], позволяет оценивать экологическое состояние природных и искусственных водных источников [2], выявлять степень минерализации воды для выбора метода водоподготовки на тепловых и атомных электростанциях [3], определять благоприятные условия жизнедеятельности речных обитателей при оценке биологических ресурсов [4]. Сравнением электропроводности различают воду в озерах и ручьях, которые образовались из растаявшей мерзлоты либо из атмосферных осадков [5–8].

В настоящее время на рынке представлено большое количество измерителей электропроводности воды, например: кондуктометр Hanna HI 8733 (Франция) [9], АНИОН-7020 (Россия) [10], PAL-06S (Япония) [11], ГМ-2007 Электросолемер (Россия) [12], ГРС-3 (фирма «Федпро», Россия) [13]. Несмотря на очевидность технического решения данного вопроса, регистрируются патенты [14–19], в научной литературе постоянно появляются публикации с предложением новых методик и новых схемных решений измерителей электропроводности воды. Это связано с недостатками существующих аппаратных средств и методик их применения: низкой чувствительностью, потерей чувствительности из-за осаждения растворенных веществ на электродах приборов, недостаточного динамического диапазона; громоздкости и большого веса; недостаточного быстродействия; неудобства представляемой информации и других причин. Появлению новых приборов способствует развитие элементной базы радиоэлектроники, расширение применения вычислительных средств, микроконтроллеров, индикаторных устройств. Новые возможности открываются перед исследователями при использовании высокочастотных приборов, работающих в микроволновой области частот, где происходит наиболее активное взаимодействие молекул воды и всей водной

¹ Работа выполнена при поддержке Программы повышения конкурентоспособности Томского государственного университета.

среды в целом с электромагнитным излучением [20-21]. Радиофизические методы основаны на достаточно хорошо развитых научных положениях, приборы, использующие эти методы, обладают требуемым быстродействием, могут быть выполнены как в лабораторном, так и в мобильном исполнении, имея небольшие размеры, вес и низкое электропотребление [22].

Целью данной работы является сравнительный анализ электропроводности некоторых рек и ручьев Западной Сибири в меридиональном направлении от Телецкого озера до поселка Ханымей Ямало-Ненецкого автономного округа с использованием аппаратных средств, разработанных сотрудниками кафедры радиоэлектроники, Лаборатории оптических и радиофизических методов исследования окружающей среды, входящей в Центр превосходства Томского государственного университета «Биота. Климат. Ландшафт», и ООО «Аквасенсор».

АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ РАДИОФИЗИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Разработанные аппаратные средства предназначены для измерения электропроводности воды в широком динамическом диапазоне (от дистиллированной до морской воды). На рис.1 изображен внешний вид универсального прибора, который может выполнять измерения на глубинах до 600 метров [22].



Рис.1. Универсальный прибор для измерения электропроводности воды



Рис.2. Мобильный вариант прибора для измерения электропроводности воды природных водоемов

На рис. 2 показан вариант мобильного исполнения прибора, ориентированного на известные пределы изменения электропроводности. Датчик сменный.

Универсальный прибор имеет три датчика для измерения электропроводности воды: 1 - с низкой проводимостью, 2 - с высокой проводимостью, 3 - кондуктометр по оригинальной схеме [23,24]. Первые два датчика выполнены на основе нерегулярных микрополосковых резонаторов [22].

Для измерения низких проводимостей датчик собран по полуволновой схеме (рис.3), которая обеспечивает высокую чувствительность. Он представляет собой отрезок симметричной микрополосковой линии с выступающим за края резонатора полосковым проводником. Верхняя и нижняя поверхности резонатора являются экраном и заземляются. Один конец полоскового проводника помещается в исследуемую жидкость, являясь чувствительным элементом датчика, а другой служит для подключения к анализатору цепей, в данном случае для включения в частотоподающую цепь автогенератора.

Другой микроволновой датчик собран по четвертьволновой схеме (рис.4.). Конструкция этого датчика отличается от приведенного на рисунке 3 датчика тем, что центральный полосковый проводник замыкается на «землю», образуя петлю. В этом случае на любой моде колебаний исследуемый образец находится в пучности высокочастотного магнитного поля при слабой напряженности электрической составляющей. При низкой проводимости изменения электродинамических характеристик датчика не происходит, зато его работоспособность сохраняется даже при

очень высоких содержаниях проводящих примесей в воде, в отличие от полуволнового датчика, который теряет свойства резонатора в таком случае.



Рис.3. Полуволновой датчик



Рис.4. Четвертьволновой датчик

Для исключения сбоев микроволновых датчиков, для согласования в переходной зоне электропроводности в прибор включен резистивный датчик (кондуктометр). Чувствительный элемент датчика состоит из двух контактов, помещенных в исследуемый раствор. Для того, чтобы отсутствовал электролиз в измеряемом растворе, измерение сопротивления датчика проводится на переменном токе. Существующие для таких измерений стандартные приборы имеют неприемлемые весогабаритные характеристики и дорого стоят.

Нами разработан датчик, принцип действия которого основан на преобразовании величины сопротивления чувствительного элемента в частоту. Такая конструкция проста в реализации и легко автоматизируется. За основу нами была выбрана конструкция датчика, содержащая автогенератор на логических инверторах. В частотозадающую цепь автогенератора входят конденсатор постоянной емкости и резистор, образуемый двумя контактами, помещенными в раствор. Частота генерации определяется формулой: $f=0,54/(C_1 \cdot R)$. Для питания кондуктометра необходимо напряжение, не привязанное к общему корпусу, чтобы не было дополнительных паразитных связей датчика со схемой генератора через общую шину. По этой же причине выход кондуктометра гальванически развязан от входа частотомера через оптоэлектронную пару, входящую в состав кондуктометра.

Универсальный прибор предназначен для океанологических исследований, он снабжен сложной электронной схемой для преобразования сигналов и передачи их на борт плавсредства, и для исследования воды в реках, ручьях, озерах и болотах этот прибор излишне оснащен. Поэтому изготовлен мобильный вариант, который использует набор тех же датчиков и имеет упрощенную схему сбора и первичной обработки данных. При проведении данных исследований использовались оба прибора.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В летний период 2014, 2015 и 2016 годов были измерены величины электропроводности рек, ручьев в Томской, Новосибирской, Кемеровской областях, Алтайском крае, Республике Алтай и Ямало-Ненецком автономном округе. Измерения проводились на объектах, расположенных рядом с шоссевыми дорогами, что позволяло, используя автомобильный транспорт, обследовать большие площади за относительно короткое время и проводить повторные измерения в тех же точках. Перед каждым измерением чувствительный элемент датчика промывался водой. Результаты статистической обработки результатов (измерения проводились в одной точке не менее 10 раз) приведены в таблице 1.

При проведении работ в полевых условиях цифровым термометром измерялась температура воды, так как в литературных источниках отмечается существенная температурная зависимость электрофизических характеристик воды. В таблице даны результаты, приведенные к одной температуре – 20°C. Данные в таблице приведены в меридиональном направлении последовательно от Телецкого озера до поселка Ханымей. Результаты показывают, что электропроводность рек и ручьев различаются более, чем на порядок. Даже у близко расположенных объектов проводимость может отличаться в разы. Для выявления причин такого различия необходимо проводить междисциплинарные исследования, включая геохимические, биологические, неогеографические. Такая возможность может быть реализована в рамках выполнения программы Стратегической Академической Единицы (САЕ) «Сибирский институт будущего» Национального исследовательского Томского государственного университета, в которой предполагается изучение климата, ландшафта, биоразнообразия, истории, культурного, научного, инновационного потенциала Сибири. В составе данной САЕ создан исследовательский центр «Транссибирский научный путь», среди основных задач которого предполагается изучение и рациональное использование водных ресурсов

Сибири для рыболовства, рыбоводства и развития аквакультуры в целях обеспечения продовольственной безопасности.

Таблица 1. Места забора проб и электрофизические характеристики воды природных водоисточников при температуре 20 °С

Место измерения	σ_0 , См/м	Место измерения	σ_0 , См/м	Место измерения	σ_0 , См/м
Дистиллированная вода	4.48E-4	Аба	0,063	Обь (Молчаново)	0,020
Телецкое озеро	0,0045	Хранилище Беловской ГРЭС.	0,036	Малый Татоп	0,049
Кибезень	0,005	Чесноковка	0,063	Большой Татоп	0,05
Юрок	0,008	Томь (Кемерово, между мостами)	0,014	Чемондаевка	0,049
Тулой	0,003	Барлак	0,042	Чая	0,042
Бия	0,006	Лебяжья (Новосибирская обл.)	0,053	Обь (Лукашкино)	0,019
Святой источник	0,016	Лебяжья (Просоково)	0,051	Обь (Александровское)	0,018
Катунь	0,008	Конок	0,030	Обь, (Нижевартовск)	0,016
Бия (до Бийска)	0,085	Малая Черная	0,046	Сэгут Ягун	0,012
Обь (за Бийском, Сорокино)	0,079	Большая Черная	0,035	Моховая	0,010
Обь (выше Барнаула)	0,017	Кузьминка	0,020	Кирилл-высягун	0,004
Шалан (Мартыново)	0,031	Ум	0,021	Пякупур	0,005
Р. Чумыш (Мартыново)	0,021	Черная речка	0,025	Хануныяха	0,004
Р. Чумыш (Ельцовка)	0,009	Томь (Томск Ниже коммунального моста)	0,017	Камгаяха	0,003
Томь (Новокузнецк) выше по течению	0,019	Обь (после пос.Победа)	0,019	Лымдадьяха	0,002

Благодарности

Авторы выражают благодарность Балдову Роману Владимировичу и Надворному Роману Владимировичу за помощь в обработке результатов и ЦКП «Центр радиоизмерений ТГУ» за предоставленное оборудование при проведении калибровки приборов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Жилин Д.М. Химия в неогеографической революции // Химия и Жизнь, 2009, №1, С36-38.
2. Коровин Е.Ю., Сусяев В. И., Васильев Е.С. Исследование качества речной воды радиофизическим методом // Известия ВУЗов. Физика, 2008 –№ 9/2 –С.226–228.
3. Сусяев В.И., Е.Ю.Коровин, В.А.Журавлев, А.С.Третьяков Исследование экологического состояния природных водоисточников многофункциональным прибором на основе нерегулярного микрополоскового резонатора.// Известия высш. учебн. завед. Физика, 2010, №9/3., С.275-278.
4. Барышников Г.Л., Семочкина С.С., Семикин Е.А., Антюфеева Т.В. Оценка потенциала биологических ресурсов в водах верхней Оби //География и природопользование Сибири, 2013, № 15, С.011–023.
5. Abakumov E. V., Tomashunas V. M., Alekseev I. I. Electrical resistance profiles of permafrost-affected soils in the north of Western Siberia according to their vertical electrical sounding // Eurasian Soil Science September 2017, Volume 50, Issue 9, pp 1069–1076.
6. Karen E. Frey and James W. McClelland Impacts of permafrost degradation on arctic riverBiogeochemistry // Hydrol. Process. 23, 169–182 (2009) DOI: 10.1002/hyp.7196.

7. Manasypov R. M., Pokrovsky O. S., Kirpotin S. N., and Shirokova L. S. Tlierinokarst lake waters across the permafrost zones of western Siberia // *The Cryosphere*, 2014, 8, 1177–1193, www.the-cryosphere.net/8/1177/2014/ doi:10.5194/tc-8-1177-2014.
8. Manasypov Rinat M., Shirokova Liudmila S., Pokrovsky Oleg S. Experimental modeling of thaw lake water evolution in discontinuous permafrost zone: Role of peat, lichen leaching and ground fire // *Science of the Total Environment* 580 (2017) 245–257 <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.12.067>.
9. Dv-expert. – URL: <http://dv-expert.org/laboratornoe-oborudovanie/konduktometr/hanna/konduktometr-hi-8733> (дата обращения 10.09.2017).
10. Dv-expert. – URL: <http://dv-expert.org/laboratornoe-oborudovanie/konduktometr/mettler-toledo/konduktometr-s230-kit-mettler-toledo> (дата обращения 10.09.2017).
11. Tiu.ru. – URL: <http://tiu.ru/p28653368-anion-7020-portativnyj.html> (дата обращения 10.09.2017).
12. Atago. – URL: <http://www.atagorus.ru/atago/czifrovye-solemery-atago> (дата обращения 10.09.2017).
13. Gidrometpribors. – URL: <http://www.gidrometpribors.ru/GM-2007.html> (дата обращения 10.09.2017).
14. Liquid level detection device: pat. 5896238 Japan № 2014126371A заявл. 25.12.2012, опубл. 07.07.2014.
15. Способ и устройство для оптического измерения распределения размеров и концентраций дисперсных частиц в жидкостях и газах с использованием одноэлементных и матричных фотоприемников лазерного излучения: пат. 2525605 Рос. Федерация № 2012145430/28; заявл. 26.10.2012, опубл. 10.05.2014.
16. Способ локального измерения размеров и потока массы частиц гидрозоль: авт. свид. 1321212 СССР № 3847309/25; заявл. 24.12.1984; опубл. 10.08.2004.
17. Погружной комплекс экологического мониторинга водных объектов: пат. № 2521246 Рос. Федерация № 2013104145/28; заявл. 01.02.2013, опубл. 27.06.2014.
18. Способ определения электрической проводимости природных вод: пат. № 2251119 Рос. Федерация № 2003135659/28; заявл. 08.12.2003, опубл. 27.04.2005.
19. Устройство для измерения физических свойств жидкости: пат. № 2328728 Рос. Федерация № 2006144899/28; заявл. 18.12.2006, опубл. 10.07.2008.
20. Кочеткова Т.Д., Суслиев В.И. Оценка изменения структуры воды по измерениям энтропии активации/ Сборник статей молодых учёных. Томск, 2001, С. 88–91.
21. Суслиев В.И., Кочеткова Т.Д. Радиофизический способ измерения структурных изменений в полярных жидкостях // *Материалы II Международной научно-практической конференции «Теория, методы и средства измерений, контроля и диагностики»*. Новочеркасск, 2001, Ч. 1, С. 72–74.
22. Дёмин В.В. и др. Разработка комплекса методик и аппаратно-программных средств для мониторинга растворимых и нерастворимых примесей в природных водных объектах Этап 1: отчет о ПНИ / ТГУ. № ГР 114120370091. Инв. № 833832., Томск, 2014. 370 с.
23. Суслиев В.И., Журавлев В. А. , Коровин Е. Ю. , Балдов Р.В. Устройство для измерения удельной электропроводности водных растворов с расширенным динамическим диапазоном. Патент на полезную модель № 16561 РФ, Приоритет 25 декабря 2015 г.
24. Балдов Р.В. Датчик для мониторинга водных растворов с широким диапазоном изменения проводимости // Р.В. Балдов, В.А. Журавлев, В.И. Суслиев, А.С. Третьяков // *Известия высш. учебн. завед.. Физика*. 2015. Т. 58. № 10/3. С. 287 – 289.

*Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия.

**Томская лаборатория сырьевых исследований Новосибирского филиала ФГБНУ «Госрыбцентр», Томск, Россия
E-mail: susl@mail.tsu.ru

Суслиев Валентин Иванович, к.ф.-м.н., доцент, susl@mail.tsu.ru;
Журавлев Виктор Алексеевич, к.ф.-м.н., доцент, ptica@mail.tsu.ru;
Коровин Евгений Юрьевич, к.ф.-м.н., доцент, korovin_ey@mail.tsu.ru;
Третьяков Александр Сергеевич, инженер, alex_tret@sibmail.com;
Суслиев Валерий Валентинович, науч. сотр., sturwal@mail.ru.

V.I. SUSLYAEV, V.A. ZHURAVLEV*, E.YU. KOROVIN*, A.S. TRETIKOV*, V.V. SUSLYAEV***

ELECTRIC CONDUCTIVITY OF SOME RIVERS AND STREAMS OF WESTERN SIBERIA

The electrical conductivity of the water of rivers, streams, lakes and marshes is investigated. Information is obtained for: assessment of short-term and long-term climate change; identification of geochemical characteristics of underlying rocks; control the ecological status of a particular region; determination of favorable living conditions of aquatic biological objects; assessment of the state of permafrost formations in the Arctic and subarctic zones. The description of the devices developed by the authors that were used for the measurement is given. The electrical conductivity of some rivers, streams and lakes of Western Siberia in the meridional direction from the Yamal-Nenets Autonomous District to the Altai Republic is given

Keywords: specific electrical conductivity, monitoring, radiophysical control methods, natural water sources, ecology, irregular microstrip resonator.

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia,
Tomsk Laboratory of Raw Materials Research, Novosibirsk Branch of FGBNU "Gosrybtsentr", Tomsk, Russia
E-mail: susl@mail.tsu.ru

SuslyaeV Valentin Ivanovich, Ass. Prof., PhD;
Zhuravlev Viktor Alekseyevich, Ass. Prof., PhD;
Korovin Evgeny Yurievich, Ass. Prof., PhD;
Tretiakov Alexandr Sergeevitch, engineer;
SuslyaeV Valerii Valentinovich, scientific researcher.