

Источник изображения: сайт Плавучего университета Института океанологии РАН  
The image source: website of the Floating University, Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences

## ДОПЛЕРОВСКИЙ ЭФФЕКТ: ПРИБОРЫ, РЕЗУЛЬТАТЫ, ПРОИЗВОДИТЕЛИ, УСКОРЕНИЕ ИЗЫСКАНИЙ

**ДЬЯЧЕНКО ЛЮДМИЛА**  
Специальный корреспондент

### АННОТАЦИЯ

Ученые-географы из Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова доказали эффективность использования доплеровских измерителей скорости течения воды в реках.

Такие приборы устанавливаются на корабле или на дне водоема. Они посылают в воду ультразвуковые сигналы и ловят звук, отраженный от взвешенных в воде твердых частиц. Благодаря эффекту Доплера определяются скорость и направление движения воды, в которой эти частицы находятся.

За короткое время в автоматизированном режиме удастся собирать большие массивы данных и использовать их в гидрологии, экологии, строительстве. Получаемые данные превосходят по результатам традиционные методы измерения скорости течения воды, например с помощью гидрологических вертушек, работа которых основана на механическом способе измерения.

В России доплеровские профилографы пока еще являются редкостью.

Об использовании таких приборов рассказал на вебинаре «Доплеровские технологии в гидрологии» Всеволод Морейдо, заведующий лабораторией гидроинформатики Института водных проблем РАН, старший научный сотрудник лаборатории эрозии почв и русловых процессов географического факультета МГУ.

Из этой статьи вы узнаете, что такое доплеровский эффект, в чем разница методов с установкой прибора на дне водоема и на движущемся судне, кто выпускает акустические доплеровские профилографы, в чем их плюсы и минусы и что делать, чтобы отечественные производители удовлетворили спрос на такое измерительное оборудование.

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

доплеровский эффект; акустический доплеровский профилограф; акустический сигнал; смещение частоты; водный объект; взвешенные твердые частицы; скорость течения; глубина; расход воды; российские производители

# DOPPLER EFFECT: DEVICES, RESULTS, MANUFACTURERS, ACCELERATION OF ENGINEERING SURVEYS

**D'YACHENKO LYUDMILA**

Special correspondent

## ABSTRACT

Geographers from Lomonosov Moscow State University have proved the effectiveness of using Doppler meters of water flow velocity in rivers.

Such sort of devices are installed on a vessel or at the bottom of a water body. They send ultrasonic signals into the water and catch the sounds reflected from solid particles suspended in the water. Due to the Doppler effect, the velocity and direction of movement of the water with these particles are determined.

In a short time, it is possible to acquire lots of data in an automated mode and to use them in hydrology, ecology, and construction. The obtained data surpass the results of traditional methods of measuring the velocity of water flow (for example, using hydrological current meters, the operation of which is based on a mechanical measurement method).

In Russia, Doppler profilographs have been still a rarity.

At the webinar “Doppler Technologies in Hydrology”, Vsevolod Moreido, the head of the Hydroinformatics Laboratory (Institute of Water Problems, Russian Academy of Sciences) and a senior researcher at the Laboratory of Soil Erosion and Riverbed Processes (Faculty of Geography, Lomonosov Moscow State University), told about using such kind of devices.

This article tells about the essence of the Doppler effect, about the difference between the methods of installing a profilograph at the bottom of a water body and on a moving vessel, about manufacturers of acoustic Doppler profilographs, about their pros and cons and about actions in order to satisfying the demand for such measuring equipment produced by Russian manufacturers.

## KEYWORDS:

Doppler effect; acoustic Doppler profilograph; acoustic signal; frequency shift; water body; suspended solid particles; flow velocity; depth; water discharge; Russian manufacturers.

## Что такое доплеровский эффект ▶

Название технологии связано с именем австрийского математика и физика Кристиана Доплера (1803–1853). Он занимался исследованиями в области акустики и оптики и первым обосновал изменение частоты звуковых и световых волн, движущихся от их источника к наблюдателю.

В научно-популярных статьях доплеровский эффект сравнивают с эхом. Как человек, что-то прокричавший в колодец или в горах, слышит эхо, так и доплеровский профилограф ловит отраженный звук.

Ведущий вебинара «Доплеровские технологии в гидрологии» Всеволод Морейдо использовал другой образ – звук от сирены скорой помощи в городе. Сигнал, который мы слышим, изменяется по мере приближения или удаления машины. Специалист с помощью

НАУЧНАЯ ШКОЛА  
ПЛАВУЧИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ  
ИО РАН



## Что такое доплеровский эффект?

Кристиан Доплер  
Christian Doppler



Дата рождения	29 ноября 1803
Место рождения	Зальцбург, Австрия
Дата смерти	17 марта 1853 (49 лет)
Место смерти	Венеция, Италия



Эффект Доплера описывает изменение частоты волн, обусловленное движением их источника по отношению к наблюдателю.

Рис. 1. Что такое доплеровский эффект (источник изображения: сайт Плавучего университета Института океанологии РАН)

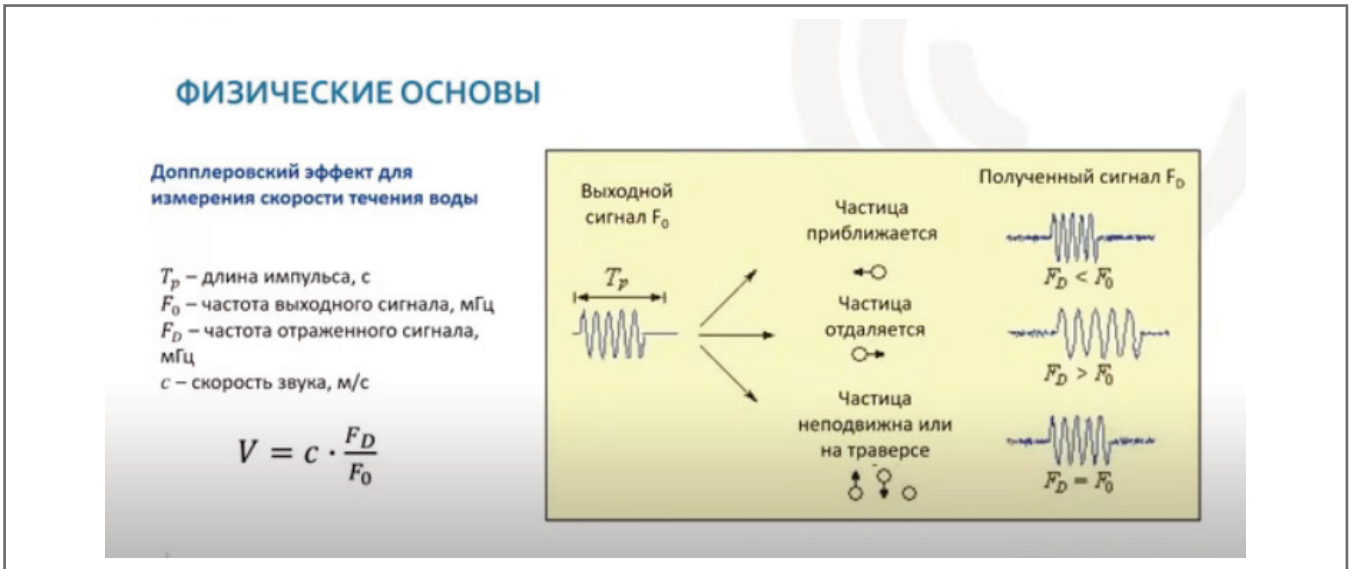


Рис. 2. Физические основы доплеровского эффекта (источник изображения: презентация Всеволода Морейдо на вебинаре «Доплеровские технологии в гидрологии»)

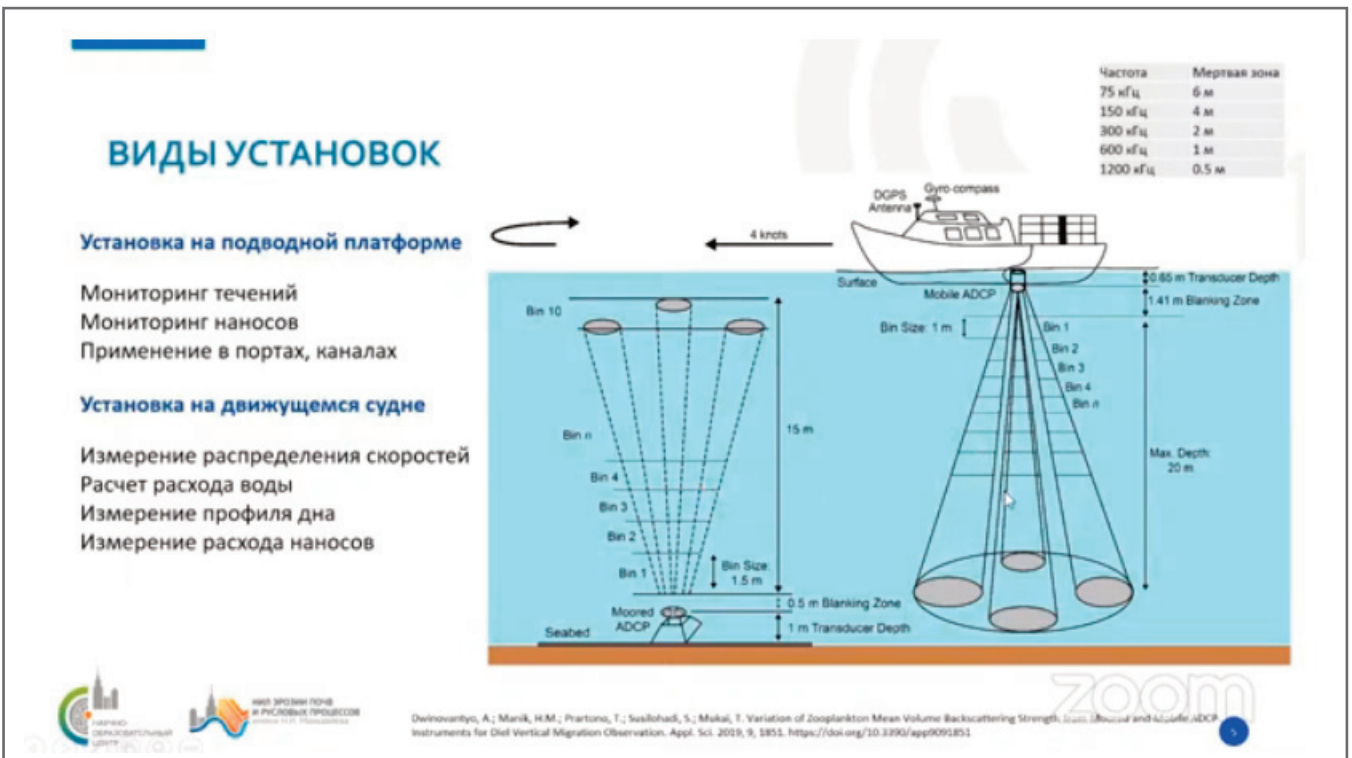


Рис. 3. Виды установок (источник изображения: презентация Всеволода Морейдо на вебинаре «Доплеровские технологии в гидрологии»)

акустического доплеровского профилографа как бы «ищет в потоке воды машину скорой помощи», то есть частицы взвешенных наносов. Сами по себе они не издадут звуки, но отражают сигналы от прибора. Если полученный ответ меньше исходной частоты, значит, частица приближается к источнику звука. Если больше, значит, отдаляется. Если смещения частоты не происходит, частица неподвижна или же перемещается вверх или вниз относительно источника звука. «Мы можем понять и измерить

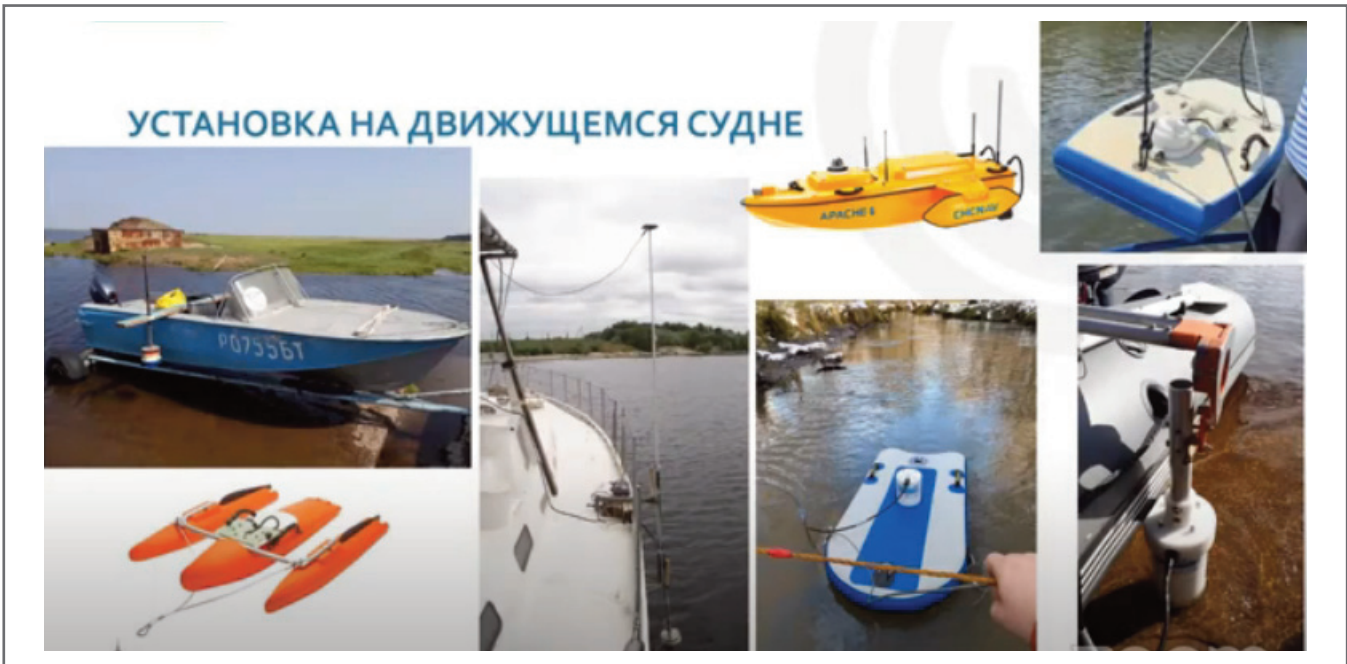
скорость этой частицы, если знаем скорость распространения звука (она зависит от температуры воды) и отношение сдвига частоты к исходной частоте», – прокомментировал Всеволод Морейдо (рис. 1, 2).

#### Где и как располагают профилограф ▶

Оборудование может находиться над водой и под водой. Подводная платформа статична, сигналы от закрепленного на ней прибора направлены вверх. На

движущемся судне, наоборот, – вниз (рис. 3). Благодаря акустическому излучению в ультразвуковом диапазоне, последовательному изменению характеристик сигнала, его включению и выключению, приему отраженного сигнала вся колонна воды подвергается измерениям и их последующей обработке.

Прибор собирает сигналы, отраженные от взвешенных твердых частиц. По сдвигу частоты измеряются скорости этих частиц и, соответственно, скорости воды на разных уровнях. Получается



**Рис. 4.** Установка на движущемся судне (источник изображения: презентация Всеволода Морейдо на вебинаре «Доплеровские технологии в гидрологии»)

распределение скоростей течения по вертикали.

У каждого профилографа есть некая «мертвая зона», откуда информация о движении воды не поступает. Чем ниже частота испущенной ультразвуковой волны, тем мертвая зона больше. У низкочастотных приборов размер этой зоны составляет 6 м, у высокочастотных – от 0,5–1 м. На ее размер также влияет граница раздела двух сред, воды и дна или воды и воздуха, если прибор находится над поверхностью реки. Здесь сигнал отражается от поверхности воды, от грунта и присутствуют шумы не от отдельных сбившихся частиц, а от сплошной среды.

Все это учитывается при определении расстояния, на которое распространяется действие прибора. Чем ниже частота сигнала, тем глубина работы прибора больше. Океанические приборы с частотой до 600 кГц имеют глубину проникновения до нескольких километров вниз, но у них и огромная мертвая зона у поверхности воды и у дна.

Профилографы, которые работают на более высоких частотах (600, 1200 кГц; 3 МГц), имеют небольшую мертвую зону вокруг самих излучателей и возле дна, но и максимальная глубина их работы не превышает 40 м. «Эти приборы подходят для использования в реках, водохранилищах глубиной до 60–70 м и в небольших реках глубиной от полуметра», – пояснил Всеволод Морейдо.

В качестве плавсредств для сбора информации на реках используются лодки

с подвесным мотором, небольшие яхты, буксируемые плоты. На них крепится акустический прибор.

Профилограф может работать автономно, имея центральный излучатель, работающий в высоком частотном диапазоне. С помощью встроенного эхолота он измеряет глубину и скорость потока с учетом скорости смещения лодки относительно дна. Или прибор подключается к антенне GPS – и тогда расчеты ведутся в абсолютной системе координат, а не относительно дна реки на выбранном участке.

#### Как используется собранная информация ►

Полученные результаты измерений расхода воды и скоростей в поперечном сечении могут быть применены для инженерно-гидрологических, экологических, гидрометеорологических изысканий. Прибор, установленный на подводной платформе, позволяет вести мониторинг течений, динамики наносов, например в портах, каналах. Акустическая установка на движущемся судне измеряет распределение скоростей, профиль дна, расход воды и наносов (рис. 5).

Профилографы часто устанавливают в устьях рек, прибрежных зонах или портовых сооружениях и позволяют получать характеристики скорости движения воды в прибрежных зонах, приливов, отливов и колебаний свободной поверхности океана. Практическое применение этой технологии – предсказывать или измерять текущее состояние водно-

го объекта, чтобы во время прохода судов не возникало аварийных ситуаций, связанных с высокой скоростью приливных и отливных течений.

Измерение скорости воды – обычное дело в гидрологии. Но прежние методы трудоемки, если сравнивать их с доплеровскими технологиями, позволяющими собирать большие объемы разнообразной информации за короткое время.

#### Какие профилографы используются в России ►

Во многих странах популярно оборудование норвежской компании Nortek Group. В США уже 10 лет измерение взвешенных наносов с помощью данных приборов производится в автоматизированном режиме. Но продукция данного бренда редко встречается в России, хотя приобрести ее можно. Поиск «Яндекса» показал, например, сайт продавца из Санкт-Петербурга. Его портал рассказывает, что современные сенсоры и электроника дают возможность настроить их под разные задачи. В некоторых случаях можно использовать многочастотный эхолот научного класса, позволяющий оценить биомассу или донные отложения.

Часто встречаются в России китайские профилографы CHCNAV. Информации о них в интернете можно найти больше, чем о норвежском оборудовании. Один из продавцов сообщает, что профилограф ADCP CHCNAV RCP 1200 кГц прошел сертификацию и включен в российский госреестр.

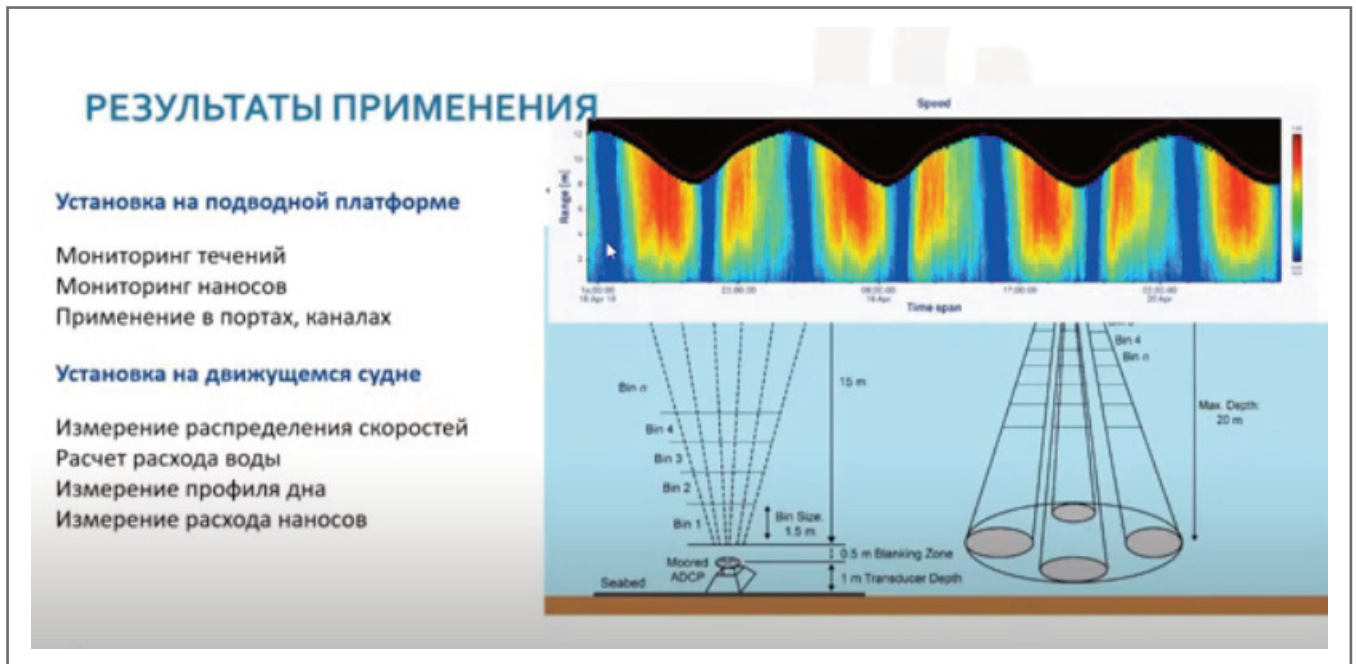


Рис. 5. Результаты измерений на основе доплеровского эффекта (источник изображения: презентация Всеволода Морейдо на вебинаре «Доплеровские технологии в гидрологии»)



Рис. 6. Прибор производства компании «Аквазонд» (источник изображения: презентация Всеволода Морейдо на вебинаре «Доплеровские технологии в гидрологии»)

Отечественных производителей подобных приборов немного. Можно купить, например, приборы производства компании «Аквазонд» из Таганрога. На сайте этой фирмы указано, что она разрабатывает и производит гидроакустические программно-аппаратные комплексы, имеет собственный отдел разработки, большой парк станков и отработанные технологии.

На вопрос слушателей вебинара о том, почему отечественной продукции в обсуждаемой сфере мало и что надо сделать, чтобы она появилась, Все-

волод Морейдо ответил так: «Чтобы приборов стало больше, нужно много инициативы от организаций, которые используют это оборудование. Необходима связь между производителем и пользователем, чтобы отрасль развивалась и не исчезла. В нашей стране только в последние годы стали выпускаться эти приборы».

Есть потребность также в компьютерных технологиях для обработки собранной информации и перевода ее из одного формата в другой. Всеволод Морейдо разработал одно из таких прило-

жений. Оно есть в открытом доступе для бесплатного скачивания.

### Каковы плюсы и минусы доплеровских приборов ►

Общий минус всех профилографов – высокая стоимость. Их производство является очень высокотехнологичным, требующим сложного и точного оборудования и высококлассных специалистов.

Преимущество у зарубежной продукции, если сравнивать ее с российской, нет. В перспективе существенным преимуществом наших приборов может

стать не такая высокая цена и доступность технической помощи (пользователи зарубежного оборудования столкнулись со сложностями по сервисному обслуживанию из-за санкций).

Измерения всеми профилографами превосходят традиционные точечные измерения скорости. Они позволяют получить большее количество данных, что важно, например, на участках разветвленных русел рек. На каналах можно прогнозировать развитие опасных процессов размыва. Детальная информация, регулярно собираемая на водоеме, необходима также для решения экологических задач.

Доплеровские приборы могут не работать или выдавать ошибки в очень мутном потоке, а также в очень чистом,

например текущем с ледников, где нет взвешенных частиц (а профилографу эти частицы нужны – ведь именно они отражают акустические сигналы).

#### Выводы ►

Доплеровские профилографы течений собирают большой массив данных в широком диапазоне за короткое время.

Для этого используется акустический доплеровский эффект смещения частоты при перемещении частицы в единичном объеме воды. Благодаря этому методу измеряется скорость течения, глубина поперечного сечения реки, рассчитывается расход воды через поперечное сечение реки в широком диапазоне условий. Результаты могут быть использованы для решения различных

задач в сфере гидрологии, экологии, строительства.

Раньше такое оборудование в России не выпускалось. Сейчас отечественные модели есть, но их немного. Для развития их производства необходима инициатива от потребителей, которые готовы приобретать профилографы или заказывать услуги с использованием этих приборов.

Добавим, что онлайн-встречу «Доплеровские технологии в гидрологии» инициировал научно-образовательный центр лаборатории эрозии почв и русловых процессов географического факультета МГУ. Такого рода просветительские мероприятия проводятся там постоянно и в двух форматах. Вебинары – для всех желающих, курсы повышения квалификации – для специалистов. **и**

# Независимый электронный журнал ГеоИнфо

С 2022 года журнал «ГеоИнфо»  
выходит в формате \*PDF.  
10 выпусков в год.



[WWW.GEOINFO.RU](http://WWW.GEOINFO.RU)