

мики плотностных потоков. Фотоэлектрический метод позволяет по ослаблению света судить о распределении концентрации взвесей в плотностных потоках. Достоинством этого метода является его малоинерционность, что позволяет получать непрерывную запись изменения прозрачности во времени. Для иллюстрации на рис. 4, а представлено распределение мутности по вертикали, полученное нами в лотке с помощью описанного выше лабораторного прозрачномера. На рис. 4, б показано изменение прозрачности во времени на различных горизонтах, полученное в 14-метровом слое воды в Черном море в устье р. Дунай, в условиях развивающегося волнения. На этом рисунке отчетливо видна картина внутренних волн, полученная при помощи описанного прозрачномера.

Таким образом, фотоэлектрический метод может быть с успехом применен при исследовании динамики плотностных потоков и может оказаться полезным при исследовании других процессов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петров В. П., Савин В. Г. Фотоэлектрический метод регистрации концентрации взвесей мелкодисперсных частиц. Тр. ин-та ВОДГЕО, вып. 26, 1970.
2. Карпов В. И. Полупроводниковые компенсационные стабилизаторы напряжения и тока. М., 1967.

Поступила в редакцию
5.3 1974 г.

Кафедра
физики моря и вод суши

УДК 532.529.5

**Н. А. МИХАЙЛОВА, Д. Н. НАБОТОВ, В. П. ПЕТРОВ,
Ю. Г. ПЫРКИН, Б. И. САМОЛЮБОВ, П. М. СТЕПУНИН**

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ НАТУРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПРИРОДНОГО ПЛОТНОСТНОГО ПОТОКА В ВОДОХРАНИЛИЩЕ НУРЕКСКОЙ ГЭС НА р. ВАХШ

Изучение природных плотностных течений является одним из направлений исследований, проводимых на кафедре физики моря и вод суши [1]. Ввиду большого практического значения механизма образования и развития придонных плотностных потоков, вызывающих заливание водохранилищ, в ноябре 1973 г. были проведены измерения прозрачности воды в верхнем бьефе водохранилища Нурекской ГЭС на р. Вахш. Измерения проводились в период глубокой межени, когда отношения расходов воды и наносов к одноименным максимальным расходам по данным Гидрометеослужбы равны соответственно 7 и 140. По тем же данным около 70% взвешенных наносов имеют крупность менее 0,01 мм.

Прозрачность измерялась с помощью фотоэлектрического прозрачномера. Минимальное значение ослабления света в жидкости, разрешаемое этим прибором, равно 1%. Величина ослабления света во взвешенном потоке, выраженная в процентах, как доля задержанного в воде светового потока, определяется концентрацией и крупностью частиц в потоке и будет далее называться мутностью. Мутность увеличивается с ростом концентрации и пропорциональна ей при слабом насыщении потока наносами и однородном гранулометрическом составе.

Получены данные о распределении мутности (рис. 1) в пяти створах (в реке, в устье и в водохранилище). По оси ординат отложено расстояние от поверхности потока, а по оси абсцисс — мутность. Расстояния между створами, в которых велись измерения, равны 1; 0,1, 3,9 и 4 км. Эпюра мутности (рис. 1, а), относящаяся к участку реки до впадения ее в водохранилище, характеризует речной поток, содержащий взвешенные частицы на всех глубинах при сравнительно небольшой разности значений ослабления света у поверхности и у дна (26%). Существенное уменьшение мутности наблюдается лишь в тонком слое у поверхности воды.

Распределение мутности в устьевой зоне, в районе поверхностной границы мутной и чистой воды, отражено в вертикальных профилях (рис. 1, б, в), которые иллюстрируют область свала взвешенных наносов в глубь водохранилища. Эпюры мутности (рис. 1, г, д), относящиеся к вертикалям, существенно удаленным от места впадения реки в водохранилище, имеют другой вид, характеризующийся большими слоями (до 6 м) чистой воды у поверхности и значительно меньшими средними градиентами мутности в толще потока. Изменение распределения мутности в продольном сечении

устьевой зоны протяженностью 1,1 км показано на рис. 1, е, где проведены изолинии мутности в потоке на участке между 1 и 3 створами. В этой области наблюдается просветление верхних слоев за счет осаждения частиц. В придонных слоях зафиксированы значения ослабления света 50–58%, отсутствующие на профилях мутности (рис. 1, а) в реке и в водохранилище (рис. 1, в). Причем 58% поглощения зарегистрировано на эюре (рис. 1, б) на расстоянии 1 м от дна, а на эюре (рис. 1, в) на расстоянии 10 см от дна.

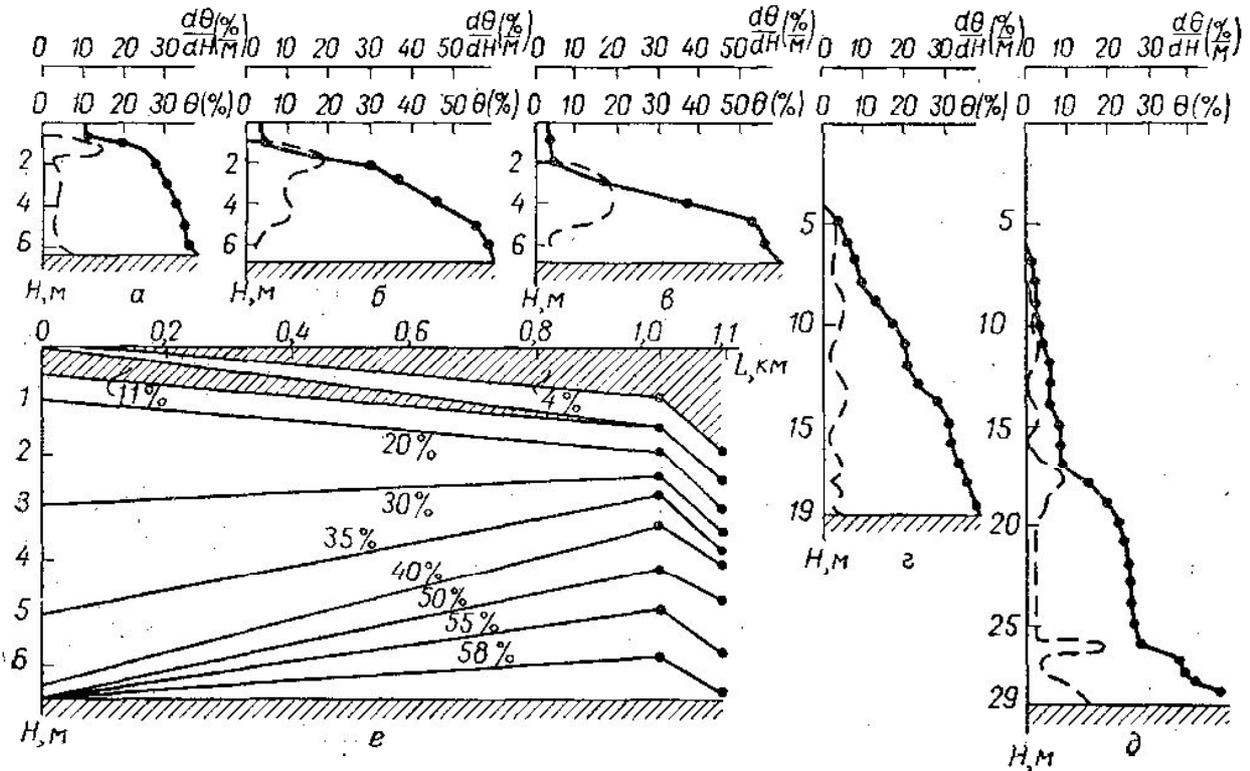


Рис. 1

На основании вышеизложенного можно предположить, что имеет место осаждение частиц из верхних слоев. Очевидно, это является причиной образования конуса выноса, устьевая бара. Описанная картина преобразования мутявого потока в устье совпадает с результатами и анализом формирования устьевая профиля работы [2] для устьевых районов рек Сулак, Амударья, Миссисипи и др.

При движении в русле реки наносы находятся во взвешенном состоянии в толще потока. Движение каждой отдельной частицы обусловлено при этом движением окружающей масс жидкости и определяется прежде всего турбулентными характеристиками потока [4, 5]. Упомянутые выше данные Гидрометеослужбы, а также вид эюр мутности (кривые с выпуклостью вверх) свидетельствуют о наличии в потоке мелких наносов, концентрации которых у дна и поверхности отличаются несущественно. При приближении к месту впадения реки в водохранилище наблюдается обычно некоторое снижение скорости потока, а следовательно, и интенсивности турбулентности. При этом наблюдается выпадение частиц наносов, о чем свидетельствуют эюры на рис. 1, а, б, в. Согласно диффузионной теории движения взвешенных наносов, которая в рассматриваемом случае должна быть справедливой, вертикальный перенос наносов (в данном случае осаждение наносов) характеризуется градиентом осредненного содержания наносов. Изменение градиента мутности по глубине представлено на тех же графиках пунктирными линиями. Эти кривые позволяют выделить зоны потока, где осаждение частиц (а следовательно, и уменьшение концентрации) должно происходить наиболее интенсивно. Сопоставление соседних эюр мутности показывает, что наиболее эффективное осветление потока действительно имеет место там, где градиенты наибольшие. На рис. 2 показано изменение величины, представляющей разность мутностей на заданной глубине на двух соседних вертикалях, от градиента мутности $\frac{d\theta}{dH}$ на первой из двух сопоставляемых вертикалей.

С приближением к водохранилищу градиент мутности возрастает (рис. 1, а, б, в). На эюрах же мутности, относящихся к вертикалям, расположенным в водохранилище, где имеет место резкое увеличение глубины потока, наблюдается уменьшение градиента мутности. На рис. 3 представлено изменение вдоль потока осредненного по глубине

потока градиента мутности $\left(\frac{d\theta}{dH}\right)$. Приводимая кривая имеет максимум на границе между рекой и водохранилищем, где и формируется плотностной поток.

На рис. 4 приведены изолинии мутности в продольном сечении водохранилища протяженностью 9 км. Уклон дна между 3-м и 4-м створами составляет $3 \cdot 10^{-3}$, а

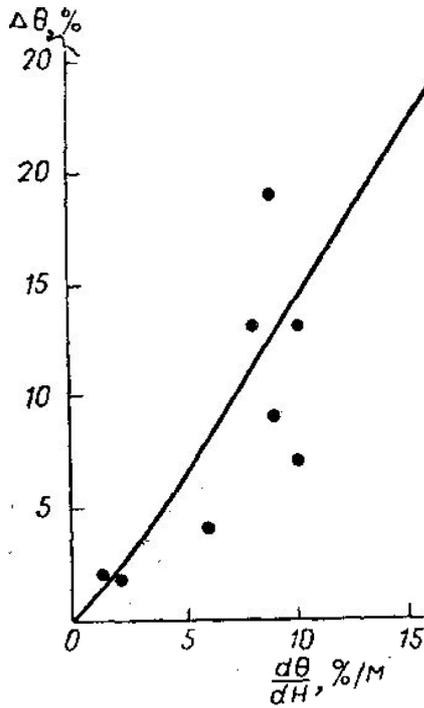


Рис. 2

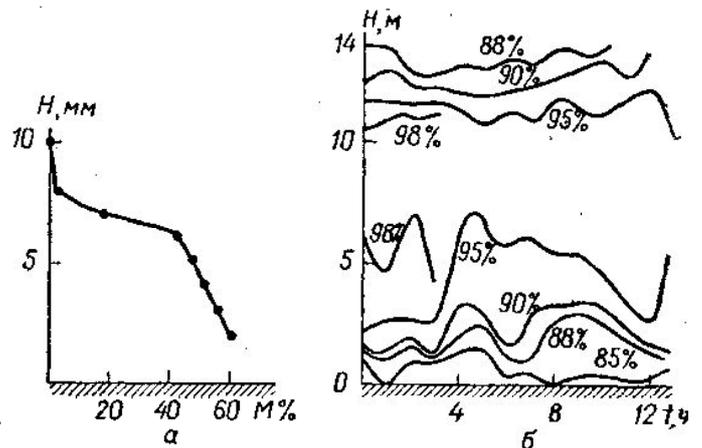


Рис. 3

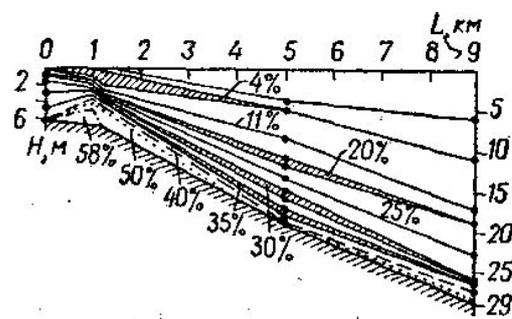


Рис. 4

между 4-м и 5-м створами — $2.5 \cdot 10^{-3}$. Верхний слой воды полностью просветляется: на расстоянии 4 км от зоны выклинивания кривой подпора (при глубине 19,2 м) толщина чистого слоя 4 м, а на расстоянии 8 км (при глубине 29 м) — 6 м. В заштрихованных областях (см. рис. 1) мутность постоянна. Расширение этих областей в 4-м створе связано с уменьшением уклона, а следовательно и скорости взвешенного потока. Между 4-м и 5-м створами области постоянной мутности переходят в изолинии и заглубляются. Изолинии с мутностью выше 30% сближаются в трехметровом слое у дна, образуя придонный плотностной поток.

Существенной особенностью плотностного потока в отличие от взвешенного руслового потока является его перемещение, как однородной жидкости повышенной плотности. В движении такого потока определяющую роль играют гравитационные силы, определяемые разностью плотностей мутяевого потока и окружающей жидкости. Следовательно, градиент мутности на верхней границе потока должен иметь максимум, что видно на рис. 1, д. Помимо основного максимума градиента, расположенного на глубине 26,3 м в толще потока, в этом створе присутствуют еще два максимума — на глубине 17,5 м и у дна. Существование максимума градиента мутности на глубине 17,5 м позволяет сделать вывод об интенсивном осаждении в этой области, а также о том, что в следующих створах этот максимум будет опускаться ко дну, а мутность на вышележащих горизонтах будет уменьшаться. Наличие придонного максимума может быть связано с осаждением частиц и разделением плотностного потока на слои различной плотности. Дальнейшее распространение этого потока, по-видимому, должно приводить к заилению участков водохранилища, расположенных ближе к плотине.

Вопрос прогнозирования заиления водохранилища Нурекской ГЭС исследовался на плоской и пространственной моделях [3], однако моделирование велось для плотины приблизительно в два раза большей высоты, чем во время наших измерений с соответствующими изменениями прочих параметров водохранилища. Поэтому нельзя провести

количественного сравнения лабораторных и натуральных данных, хотя качественно они согласуются.

Таким образом, при проведении данной работы был обнаружен придонный плотностной поток в водохранилище Нурекской ГЭС на р. Вахш. Кроме того, установлен факт активного заиливания водохранилища даже в период глубокой межени. Приведенные результаты подтверждают целесообразность дальнейшего применения данной методики для исследования плотностных потоков в водохранилищах в сочетании с измерениями распределения скорости для расчета характерных параметров потока, что необходимо для оценки перспективности водохранилищ и выработки мер по борьбе с заиливанием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Анучин В. Н., Гусев А. М., Михайлова Н. А., Петров В. П., Пыркин Ю. Г. Материалы Международного симпозиума по стратифицированным течениям. Новосибирск, 1972.
2. Михайлов В. Н. Динамика потока и русла в неприливых устьях рек. Тр. ГОИН, вып. 12, 1971.
3. Мухамедов А. М., Кулеш Н. П., Мухамедов Я. М. Материалы Международного симпозиума по стратифицированным течениям. Новосибирск, 1972.
4. Великанов М. А. Динамика русловых потоков. т. 2. М., 1955.
5. Михайлова Н. А. Перенос твердых частиц турбулентными потоками воды. Л., 1966.

Поступила в редакцию
5.5 1974 г.

Кафедра
физики моря и вод суши

УДК 621.384.612

З. Л. АРТЕМЬЕВА, К. Н. ШОРИН, А. С. ЯРОВ

ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ДИАГНОСТИКИ ПУЧКА ПРИ РЕЗОНАНСНОМ ВЫВОДЕ ЧАСТИЦ ИЗ СИНХРОТРОНА

Уникальные свойства синхротронного излучения электронов позволили разработать новую методику исследования быстропротекающих процессов в ускорителях. Оптические методы исследования, как показала практика, обладают целым рядом преимуществ, из которых в первую очередь следует отметить возможность визуальной оценки эволюции электронного сгустка в различных процессах.

Метод скоростной киносъемки, предложенный с целью изучения радиационных эффектов [1, 5], был с успехом использован для обнаружения наиболее опасных резонансов бетатронных колебаний [2]. В дальнейшем он был усовершенствован и позволил провести детальное исследование ряда важнейших резонансов [3]. Тем не менее этот метод имеет и недостатки, которые могут оказаться решающими при изучении быстропротекающих процессов. Помимо сугубо механических возможностей кинокамеры, на диапазон скоростей съемки накладывает ограничение интенсивность излучения электронов в видимом диапазоне. Кроме того, время экспозиции одного кадра составляет лишь незначительную часть временного интервала между двумя кадрами, и в ряде случаев это может привести к неправильным или противоречивым результатам.

Для детального исследования быстропротекающих процессов или процессов с малой интенсивностью излучения нами разработан и испытан в пучке синхротрона оптический затвор-усилитель на базе трехкаскадного электронно-оптического преобразователя (ЭОПа). Прибор обеспечивает визуальное наблюдение на экране ЭОПа, фотографирование с дистанционным управлением и одновременную передачу по телевизионному каналу изображения сечения электронного сгустка в любой фазе цикла ускорения в диапазоне энергий ускоренных электронов 70–650 МэВ. Использование этого прибора существенно дополняет методику, разработанную ранее [2, 3], увеличивая ее эффективность при исследовании быстропротекающих процессов, требующих высокой чувствительности и высокого временного разрешения.

В то же время нет оснований отказываться от тех преимуществ, которые дает неоднократно проверенная в эксперименте киносъемка (например, возможность воспроизведения процесса в динамике). Таким образом, предлагаемая комплексная методика предусматривает параллельное использование ЭОПа и скоростной киносъемки (как и в режиме кадровой съемки, так и в режиме фоторегистратора).