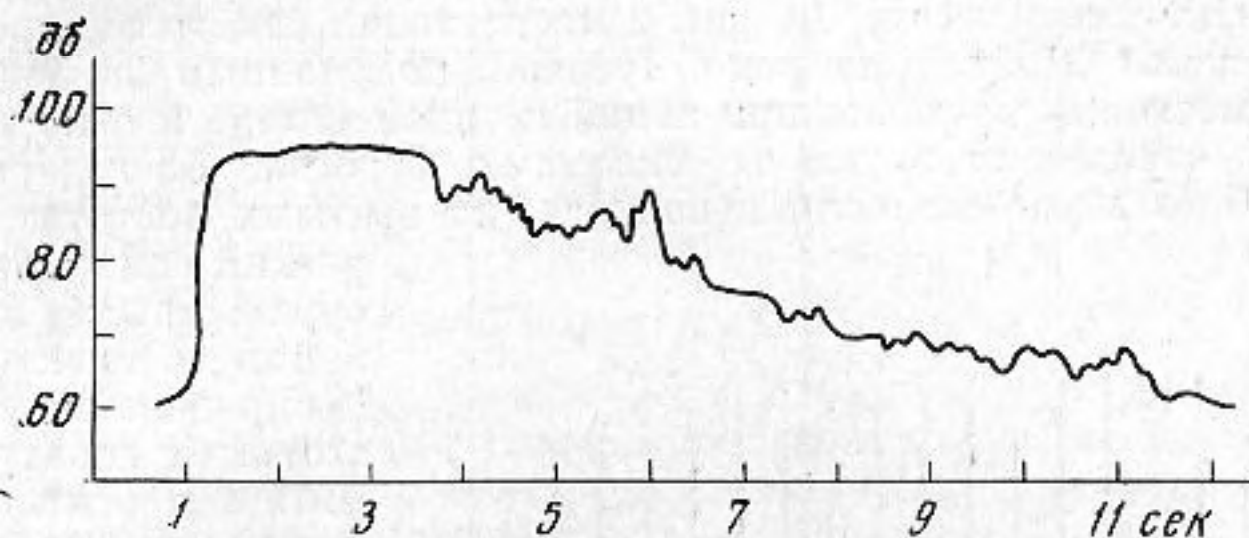


## О РЕВЕРБЕРАЦИИ ЗВУКОВЫХ СИГНАЛОВ СУДОВ НА РЕКАХ

В. И. Арабаджи, Е. С. Прохоров

Вопрос о длительности реверберации звуковых сигналов судов важен для осуществления кодированной звуковой сигнализации. Ввиду того, что реверберация имеет большую величину на реках с высокими берегами, в качестве объектов исследований мы избрали сибирские реки Лёну (между Киренском и Витимом), Енисей (между Красноярском и Дивногорском) и Чусовую на Урале (между скалой Шайтан и Вороньей горой). На указанных участках берега рек в основном покрыты лесом, но нередко здесь встречаются и оголенные скальные стенки высотой от 30 до 100 м (на Лёне — до 180 м). Ширина Енисея в местах проведения наблюдений со-



Фиг. 1

ставляла 600, Лёны 220 м и Чусовой в верхнем течении, где производились основные измерения, около 80 м. Отражающие звук скальные участки рек находились как вблизи воды, так и на расстоянии от берега до 2 км на Енисее и Лёне и до 400 м на Чусовой.

Звук фиксировался шумомером Ш-3 ЛИОТ с точностью до 1 дБ и отдельно магнитофоном М-75 (с последующим анализом в лаборатории). Неравномерность частотной характеристики сквозного канала магнитофона в верхнем пределе находилась на уровне 3 дБ, нелинейные искажения составляли не более 5%. Акустический анализ проводился с помощью анализатора спектра шума АШ-2М ЛИОТ с динамическим диапазоном 37 дБ и диапазоном рабочих частот 36 гц — 11 кгц. Отсутствие существенных искажений в акустическом тракте было установлено путем сопоставления спектров звуковых сигналов судов со спектрами стандартных источников звука, полученными на той же аппаратуре. Ошибки измерений при акустическом анализе не превышали 15%. Прием звуковых сигналов аппаратурой осуществлялся или с мостика судна при остановленном двигателе, или с берега реки на расстоянии 20—30 м от ближайших прибрежных скал.

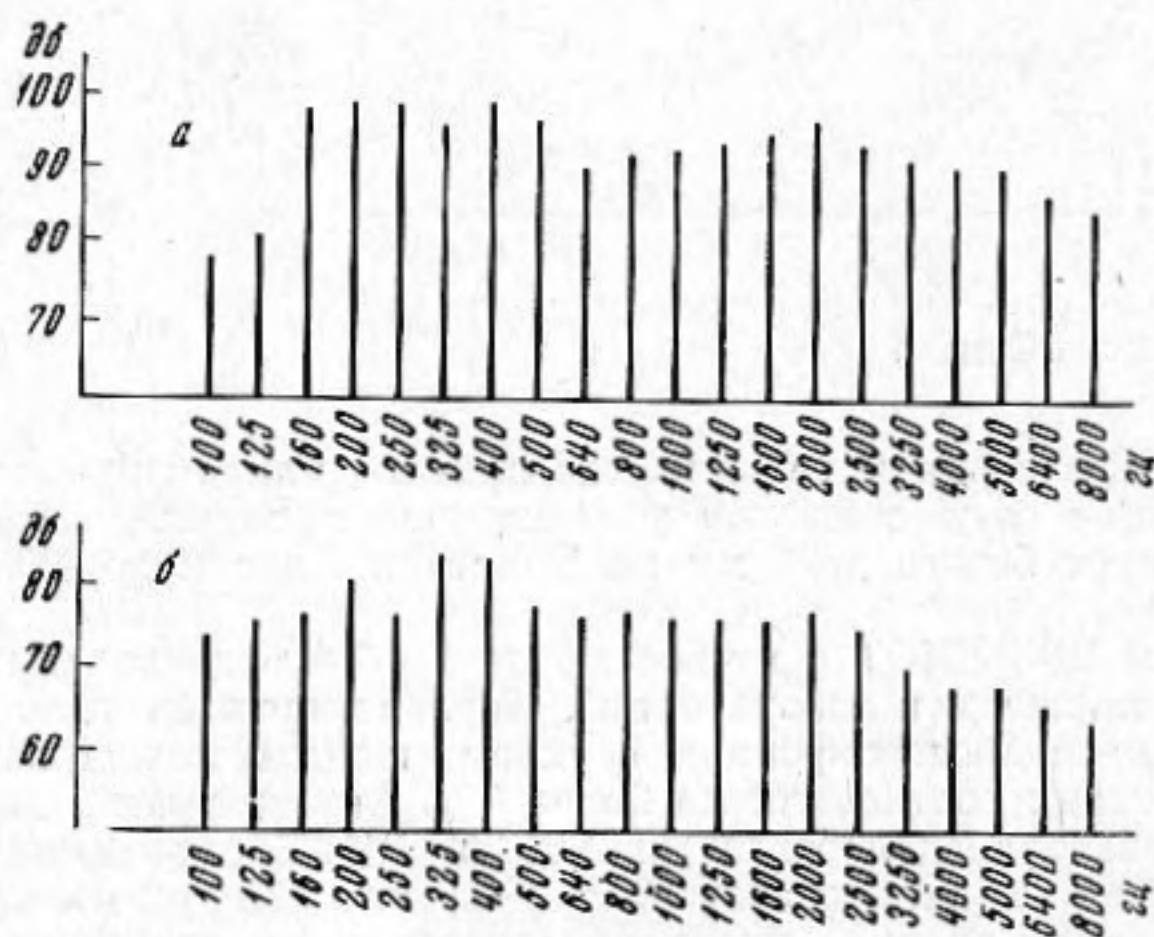
Акустические измерения на Чусовой имели целью сопоставить условия реверберации на больших реках с аналогичными условиями небольшой реки. В качестве источника звука в основном при этом использовались выстрелы из ружья.

Все измерения реверберации производились при отсутствии ветра. На Енисее длительность реверберации в верхнем пределе доходила до 12 сек (при влажности 70% и более), на Лёне — до 17 сек (при влажности более 90%), на Чусовой — до 5 сек (при влажности от 70 до 90%). Эпизодические наблюдения у высокого берега Волги (вблизи Горького) показали, что максимальная длительность реверберации при тихой погоде в вечернее время может достигать здесь 7 сек. Средняя длительность реверберации на Енисее при прохождении судна вблизи от места наблюдения (на расстоянии 100—300 м) составляла около 8 сек, при удалении судна от наблюдателя на 2—3 км время реверберации уменьшалось до 3 сек. На Лёне среднее время реверберации сигналов судов, проходивших вблизи места наблюдения, было равно 14 сек, для судов, находившихся в 2—3 км от места наблюдения, оно уменьшалось до 7 сек. Средняя длительность реверберации на Чусовой при расположении источника звука на расстоянии нескольких десятков метров от места наблюдения составляла 4 сек.

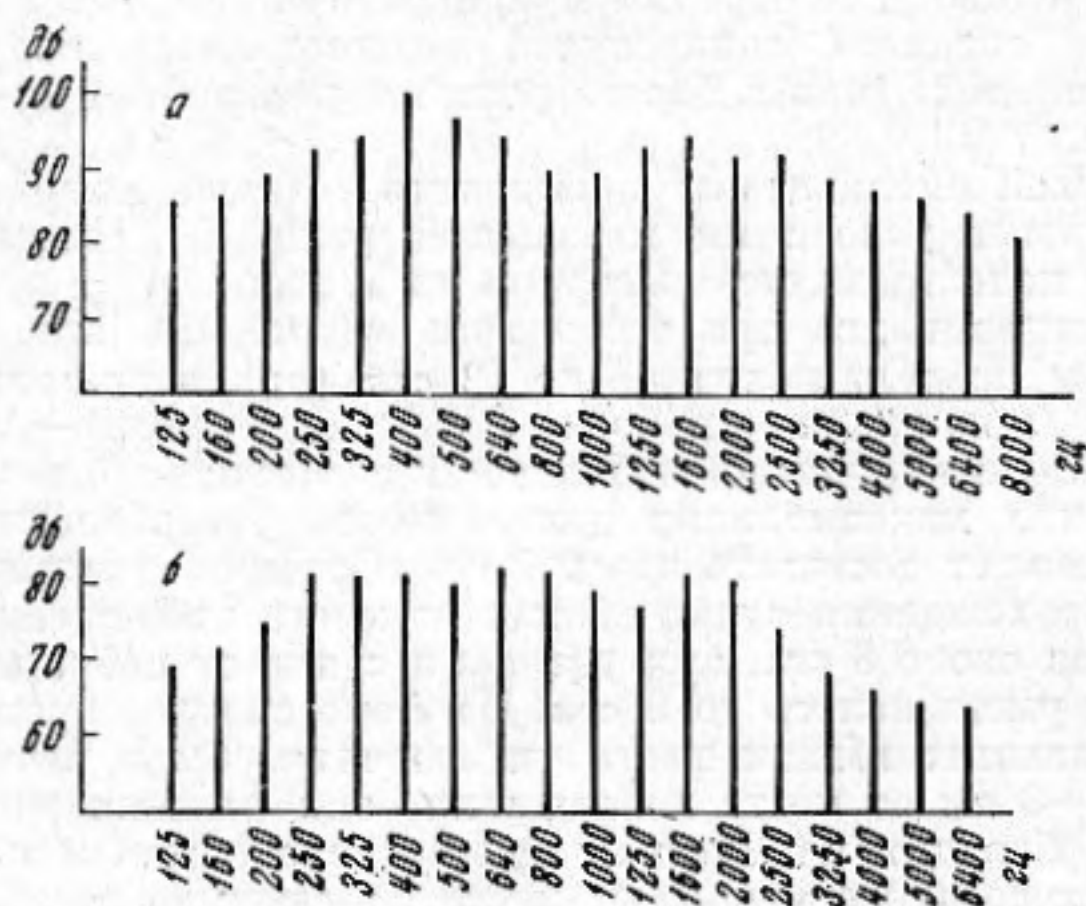
Хотя в основном на реках с высокими берегами от звуковых сигналов судов наблюдается слитная реверберация, нередко в этих условиях отмечаются и отдельно воспринимаемые отраженные сигналы. На Лёне при благоприятных условиях можно наблюдать до 25 отраженных сигналов (в среднем же около 15), на Енисее — до 15 (чаще 8), на Чусовой — до 3 (чаще 1—2). Максимальный уровень силы звука судовых сигналов в месте наблюдения составлял 102 дБ, при выстрелах из ружья в 10 м от источника сила звука доходила до 109 дБ. Первые отраженные сигналы имели силу звука от 78 до 68 дБ (сила звука отраженного сигнала зависит от свойств источника звука, от его удаленности от наблюдателя и от звукопроводности среды). Средний уровень помех при наблюдении отраженных сигналов составлял 65 дБ. На фиг. 1 дана развертка по времени реверберации сигнала парохода «Александр Попов». За-

пись сигнала произведена вблизи Красноярска 3 июня 1968 г., в 10 час 30 мин по местному времени, при ясной и тихой погоде и относительной влажности 75%. Для получения развертки использовался самописец Н-110 со скоростью записи 100 мм/сек и рабочим диапазоном частот 20 гц — 20 кгц. Здесь и далее на графиках на оси ординат отложена сила звука в относительной мере (градуировка аппаратуры для абсолютных измерений не входила в нашу задачу). Развертка по времени сигналов судовых воздушных тифонов характеризуется более резким спадом силы звука сразу после прекращения действия источника.

Для выявления влияния на сигнал отражающих поверхностей нами были проанализированы первые отраженные сигналы выстрелов из ружья в двух участках реки Чусовой (выстрелы из ружья были взяты для анализа потому, что в этом случае отражения наиболее четко разделялись по времени). На первом из участков реки Чусовой отражение звука происходило от скальных стенок, на втором — от берегов, сплошь покрытых лесом. На фиг. 2 представлен спектр выстрела из ружья *a* и его эха *b* от скалы Шайтан на реке Чусовой, полученный 28 августа 1968 г., в 9 час 30 мин по местному времени, при ясной и тихой погоде и относительной влажности 70%. При отражении звука от скальных берегов, благодаря поглощению энергии при пробеге звуковых волн в воздухе, на высоких частотах заметен более



Фиг. 2



Фиг. 3

резкий спад энергии в спектре отраженных сигналов в сравнении со спектром источника. Распределение энергии по частотам в спектре сигналов на фиг. 2 в основном повторяет распределение энергии в спектре источника, но в диапазоне частот 200—500 гц между ними иногда наблюдаются некоторые расхождения в общем характере распределения. Можно полагать, что это обусловлено резким резонансом в полостях скальных стенок благодаря близости длины волны звука к размерам неоднородностей структуры отражающих поверхностей. На фиг. 3 представлен спектр выстрела из ружья *a* и его эха *b* от хвойного леса, полученный у Вороньей горы на реке Чусовой 29 августа 1968 г., в 8 час по местному времени, при ясной и тихой погоде и относительной влажности 70%. При отражении звука от хвойного леса спектр отраженного сигнала в основном также повторяет спектр источника, но в этом случае максимумы в спектре отраженного сигнала более сглажены и на частотах в диапазоне 640—800 гц появляется небольшой дополнительный максимум, который характеризует воздействие на звук леса, как отражающей поверхности.

На основании приведенных наблюдений мы приходим к выводу, что первые 2—3 сек реверберации звуковых сигналов судов на реках с высокими берегами характеризуются сравнительно высокой силой звука, на фоне которого восприятие кодированных сигналов на встречных и обгоняющих судах может быть затруднено, а иногда и невозможно. Эти обстоятельства следует учитывать судоводителям при плавании на участках рек с высокими берегами.

Горьковский институт инженеров  
водного транспорта

Поступило в редакцию  
11 ноября 1968 г.