

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ОЦЕНКИ И НОРМИРОВАНИЯ ШУМА ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ПОРТОВ

Соловей Н.А., Жигульский В.А., Княженко Е.В.

ООО "Эко-Экспресс-Сервис" (195112, г. Санкт-Петербург, Заневский пр., 32, корп. 3) ecoplus@ecoexp.ru

Проводится сравнительный анализ чувствительности различных биологических объектов к акустическим воздействиям. У многих видов животных область частот слышимого для них звука весьма отлична от таковой у человека и может даже не пересекаться с ней. Общий диапазон частот, при которых звуки слышны различным животным, охватывает не менее восьми порядков величин (от сотых долей Гц до сотен кГц), в то время как для человека этот интервал ограничен лишь четырьмя порядками величин. Таким образом, действующие антропоцентричные нормативы допустимых уровней шума непригодны для регламентации его влияния на природные экосистемы. Для этой цели необходима разработка нормативов уровней звукового давления во всем указанном диапазоне частот, допустимых для самых чувствительных реципиентов. Так, для наземных и околоводных экосистем и ООПТ таким тест-объектом оказываются птицы. Для них уровень шума 35–40 дБА не вызывает патологических изменений поведения и физиологических процессов. Именно этот уровень может ориентировочно считаться предельно допустимым для техногенных шумов и для шума портов в частности. Более надежные результаты даст нормирование допустимых уровней звукового давления во всем диапазоне частот, по реакциям наиболее чувствительных реципиентов в каждой октаве.

Ключевые слова: акустика, шум портов, оценка и нормирование шума, акустическое воздействие на биоту.

ECOLOGICAL ASPECTS OF AN ESTIMATION AND NOISE RATIONING AT DESIGNING OF PORTS

Solovey N.A., Zhigulsky V.A., Knjazhenko E.V.

Ltd. "Eco-Express-Service" (195112, St. Petersburg, Zanevsky etc., 32, Bldg. 3) ecoplus@ecoexp.ru

The comparative analysis of sensitivity of various biological objects to acoustic influences is carried out. For many kinds of animals the area of frequencies range of a sound heard for them is rather distinct from that at the man and it's possible they aren't crossed in general. The general frequency range at which sounds heard by various animals, covers not less than eight orders of magnitudes (from the hundredth Hz to hundreds kHz) while for the man this interval is limited only by four orders of magnitudes. Thus, current anthropocentric norms of allowable noise levels can't be usable for regulatory actions of noise influence on natural ecosystems. For this purpose in all specified frequency range, development of allowable sound-pressure levels is necessary for the most sensitive recipients. So, birds are such test-object for terrestrial and semiaquatic ecosystems and special protected natural areas. For them the noise level 35–40 dBA does not cause pathological changes of behavior and physiological processes. This level can roughly be considered as maximum allowable for technogenic noise and for noise of ports in particular. More reliable results rationing of allowable sound-pressure levels in all frequency range gives rationing of reactions of the most sensitive recipients in each octave.

Key words: acoustics, noise of ports, estimation and noise rationing, acoustic impact on biota.

Введение

Интенсивное портовое строительство со всей очевидностью определяется насущными геополитическими интересами Российской Федерации. При этом неуклонно возрастает и степень воздействия строящихся и эксплуатируемых портовых комплексов на окружающую природную среду, становится всё актуальнее проблема его адекватной оценки, нормирования и эффективного регулирования. Ситуация дополнительно осложняется тем, что проектируемые порты часто соседствуют с особо охраняемыми природными территориями (ООПТ) и иными природными объектами с высоким уровнем биоразнообразия, отличающимися повышенной чувствительностью к техногенному воздействию. Одним из лимитирующих факторов при этом оказывается воздействие шума портов на наземную и околоводную биоту, и в первую очередь – на орнитофауну.

Таким образом, назрела необходимость ревизии сугубо антропоцентричных методов оценки и нормирования портового шума с целью замены их синэкологичными аналогами – учитывающими

акустическое воздействие не только на человека, но и на многовидовые природные экосистемы и, приоритетно, на орнитокомплексы.

Цель исследования – оценить допустимость и корректность использования общепринятых принципов акустического воздействия применительно к природным экосистемам и к ООПТ, а также определить пути возможного улучшения нормативно-методической базы оценки и нормирования шума при проектировании портов для обеспечения защиты не только человека, но и всей биоты.

Материал и методы исследования

В настоящей работе использованы многочисленные фондовые материалы ООО "Эко-Экспресс-Сервис" – крупнейшей в Северо-Западном регионе экологической компании с 19-летним опытом работы, а также данные, приводимые в тематической научной литературе. Используемая природоохранная документация ООО "Эко-Экспресс-Сервис" по более чем ста проектам, связанным с портостроением и гидростроительством, была разработана по стандартным методикам, в соответствии с требованиями действующего законодательства.

Результаты исследования и их обсуждение

1. Современное состояние проблемы

Проблема оценки и нормирования техногенных шумовых воздействий на особо охраняемые природные территории (ООПТ) весьма актуальна. Необходимость такого нормирования обусловлена требованиями действующих законов Российской Федерации. Так, согласно закону Российской Федерации «Об охране атмосферного воздуха» № 96-ФЗ от 4.05.1999 г. (с изменениями), "в целях определения критериев безопасности и (или) безвредности воздействия химических, физических и биологических факторов на людей, растения и животных, *особо охраняемые природные территории* и объекты, а также в целях оценки состояния атмосферного воздуха устанавливаются гигиенические и экологические нормативы качества атмосферного воздуха и *предельно допустимые уровни физических воздействий на него*".

Необходимость охраны ООПТ декларирует статья 4 Закона Российской Федерации "Об охране окружающей среды" № 7-ФЗ от 10.01.2002 г. (с изменениями). Согласно № 7-ФЗ, к нормативам качества окружающей среды относятся нормативы, установленные в соответствии с физическими показателями состояния окружающей среды. В целях предотвращения негативного воздействия на окружающую среду хозяйственной и иной деятельности устанавливаются нормативы допустимых физических воздействий (*в т.ч. уровни шума*), позволяющие обеспечивать соблюдение нормативов качества окружающей среды с учетом природных особенностей территорий и акваторий.

Кроме того, практика проектирования портовых комплексов показывает, что прогнозирование ожидаемых шумовых воздействий на биоту, на популяции особо охраняемых и промысловых видов, на ООПТ является важнейшим (а при высоком фоновом уровне биоразнообразия – иногда и основным) критерием экологической оценки всего проекта в целом [2,6]. Этот аспект проектирования постоянно и вполне заслуженно привлекает повышенное внимание экспертов государственной и общественной экологической экспертизы, госэкспертизы проектной документации, экологических научно-исследовательских институтов, широкой общественности.

Однако нормативная база для такой оценки крайне скудна и ограничена. Методология и методы оценки, нормирования и регулирования акустических воздействий сугубо антропоцентричны, ориентированы на организм человека и учитывают его специфические реакции на акустические воздействия, причём преимущественно антропогенного характера [1-4 и др.].

В тоже время известно, что многие виды животных и даже растений характеризуются совершенно иными, нежели у человека, механизмами восприятия звука и вибрации, другими диапазонами воспринимаемых частот колебания внешней среды и иной чувствительностью к звуковому давлению. Соответственно, у многих видов животных область частот слышимого для них звука отлична от таковой для человека. Более того, у некоторых видов животных область частот слышимого для них звука вообще не пересекается с человеческой. Таким образом, в настоящее время важнейшим аспектом при изучении звуков

на живые организмы является природоохранной, в первую очередь – в плане охраны ООПТ и особо охраняемых биологических видов [1-3, 6 и др.].

Существующие подходы к нормированию акустических воздействий на особо охраняемые природные территории (ООПТ) проанализированы в работе Г.Н. Кузьминой с соавторами [4]. Уровни шумовых воздействий на ООПТ в настоящее время регламентируются только при ведении работ по строительству, ремонту и содержанию автодорог, в соответствии с ведомственными строительными нормами ВСН 8-89 "Инструкция по охране природной среды при строительстве, ремонте и содержании автомобильных дорог". Этим документом для территории заповедников и заказников установлены нормы уровня звука: днем до 35 дБА, ночью до 30 дБА. К сожалению, степень чувствительности различных объектов животного и растительного мира к шумовым воздействиям в зависимости, роль продолжительности воздействия, спектральный состав шумов (распределения звуковой энергии по частотному диапазону) при этом не учитываются.

Применительно к ООПТ на территории г. Москвы постановлением её правительства № 896-ПП в 2001 г. был установлен довольно условный, также единый, менее строгий норматив – предельно допустимый эквивалентный уровень звука шума 50 дБА. К настоящему времени он утратил силу.

Представляет интерес казахстанский прецедент пооктавного нормирования уровней звукового давления применительно к ООПТ. В соответствии с приказом Министра сельского хозяйства № 5 от 10.01.2008 г., на территории государственных природных заповедников Республики Казахстан установлены предельные значения уровней звукового давления (дБ) в октавных полосах со среднегеометрическими частотами. При этом нормы шумовых воздействий равны допустимым уровням звукового давления, уровням звука, эквивалентным и максимальным уровням звука, установленным для территорий жилой застройки с самыми высокими гигиеническими требованиями к уровню допустимого шума (площадок отдыха на территории больниц и санаториев) (СН 2.2.4/2.1.8.562-96).

Несомненно, нормирование уровней звукового давления с учетом частоты звука имеет большую биологическую обоснованность, адекватность и, видимо, надёжность, нежели использование довольно условного единого нормализованного показателя уровня звука (дБА). Однако можно предположить, что оценка ожидаемого воздействия звукового давления на животных, основанная на его сравнении с нормативами "октава – порог биологического действия", разработанными для человека, приобретает весьма условный характер, если применить её и для всей биоты в целом, и для любых особо охраняемых биологических объектов и населенных ими территорий (ООПТ). И ещё в большей степени это относится к использованию показателей уровней звука (в дБА), искусственно нормализованных в нескольких октавах для видоспецифичных аудиограмм человека.

2. Некоторые количественные аспекты реакции биоты на акустические воздействия

Анализ закономерностей эволюции слуховой сенсорной системы у животных осуществляется во множестве специальных публикаций [1,5 и мн.др.] и выходит за пределы задач настоящей работы. В её рамках существенны следующие итоги этих работ.

У простейших реакции на колебания внешней среды характеризуются ярко выраженной и довольно сложной частотной специфичностью. Так, например, существенное биологическое воздействие оказывают колебания частотой 25, 300, 500, 1000 Гц, однако частоты 100, 200, 700, 2000 Гц оказываются, наоборот, "недействующими".

Механизмы реакции нейронов у многоклеточных животных, особенно – у позвоночных животных на колебания внешней среды вообще и на звуковое воздействие – в частности, достаточно сходны, и диапазоны воспринимаемых ими частот варьируют довольно слабо. Однако специализация сенсорных систем (прежде всего – рецепторных клеток, тканевых структур и органов) обусловила их существенную функциональную дифференциацию и, в частности, привела к значительным отличиям диапазонов частот слышимого звука, порогов восприятия звукового давления и характера их зависимости от частоты звука и других биоакустических характеристик.

Результаты сравнительной оценки приводимых в доступной литературе сведений о частотных диапазонах слышимого звука для животных разных систематических групп [1-10] приводятся в таблице 1.

Таблица 1

Границы диапазонов частот слышимого звука у животных

Систематические группы животных	Нижняя граница, Гц	Верхняя граница, Гц
гидромедузы	3	5
моллюски головоногие	30	500
моллюски брюхоногие и пластинчатожаберные	30	1000
паукообразные	20	45 000
ракообразные	0,4	7 000

насекомые	0,05	250 000
рыбы	16	30 000
амфибии	30	15 000
рептилии	20	6 000
птицы	0,1	15 000
млекопитающие, в том числе:	1	320 000
отр. рукокрылые	30	250 000
отр. насекомоядные	250	70 000
отр. грызуны	20	91 000
отр. зайцеобразные	360	42 000
отр. хищные	16	100 000
<i>с. совые</i>	40	100 000
<i>с кошачьи</i>	45	64 000
<i>с. куньи</i>	16	44 000
<i>с. енотовые</i>	100	40 000
<i>с. опоссумы</i>	500	64 000
отр. хоботные	1	12 000
отр. непарнокопытные	23	35 000
отр. парнокопытные	55	33 500
отр. китообразные	10	320 000
<i>подотр. киты зубатые</i>	10	320 000
<i>подотр. киты усатые</i>	500	28 000
отр. ластоногие	150	30 000

Необходимо отметить, что и в рамках достаточно узких и близкородственных систематических групп (и даже для видов из одного рода) часто отмечается существенное различие зарегистрированных диапазонов частот слышимых звуков [1,5, 7,8].

Частотные диапазоны, указанные в таблице 1 для систематических групп различных рангов, представляют собой объединения видоспецифичных частотных диапазонов. Поэтому приведённые результаты объединения на уровне крупных таксонов (от семейства и выше) диапазонов частот слышимого звука, приводимых разными авторами для различных биологических видов, существенно выходят за пределы видоспецифичных диапазонов и, соответственно, могут быть использованы только для сравнительной оценки крупномасштабных систематических групп.

К возможным причинам такой вариабельности частотных диапазонов, оцениваемых различными исследователями как слышимые, можно отнести:

- вариабельность строения сенсорных систем, в частности, специализация слуховых рецепторных структур (при значительном сходстве порогов реакции на колебания среды нейронов у самых разных животных) [5];

- существенное их разнообразие, выбор которых часто довольно субъективно определяется конкретными исследователями;

- наконец, неопределённость самого понятия "слышимого звука" применительно к разнообразным формам жизни [1,5].

Общий диапазон слышимых животными звуков охватывает, как минимум, *восемь порядков величин* – от сотых Гц до сотен кГц, в то время как для человека этот интервал ограничен лишь *четырьмя порядками величин* (ориентировочно 20 Гц – 20 КГц). При этом наиболее широкими диапазонами частот, при которых звук является слышимым, обладают насекомые, млекопитающие и птицы. По-видимому, "рекордсменами" восприятия звука низких частот среди позвоночных являются некоторые птицы, звука высоких частот – рукокрылые млекопитающие и зубатые киты.

Отметим, что при строительстве и эксплуатации портов именно птицы являются объектами наиболее сильного воздействия и, соответственно, особой защиты. Кроме того, ООПТ в прибрежной зоне морей часто предназначены для защиты именно миграционных стоянок птиц-мигрантов и местных орнитологических комплексов. Соответственно, применение установленных для человека нормативов акустического воздействия к этим биологическим объектам явно неприемлемо и не может обеспечить должного уровня оценки и регулирования данного фактора.

Аудиограммы позвоночных животных, как правило, сходны с таковыми для человека по своему принципиальному характеру: минимальные пороги в срединной зоне наиболее воспринимаемых частот, возрастание порогов по мере отклонения от этой зоны в области более низких и высоких частот [1-6] (примеры на рис. 1). Однако при этом:

- у различных видов животных даже в пределах одного класса частотные зоны наибольшей чувствительности заметно варьируются, определяя существенные смещения аудиограмм по оси абсцисс;
- более того, что известные аудиограммы, как и диапазоны частот слышимого звука, существенно варьируются даже в пределах довольно близкородственных таксонов;
- для всех классов позвоночных разброс зон наибольшей чувствительности оказывается ещё более существенным, и аудиограммы отличаются ещё более заметно;
- интервалы значений порогов биологического действия звука у разных биологических видов (включая и человека) могут весьма существенно различаться и даже вообще не пересекаться.

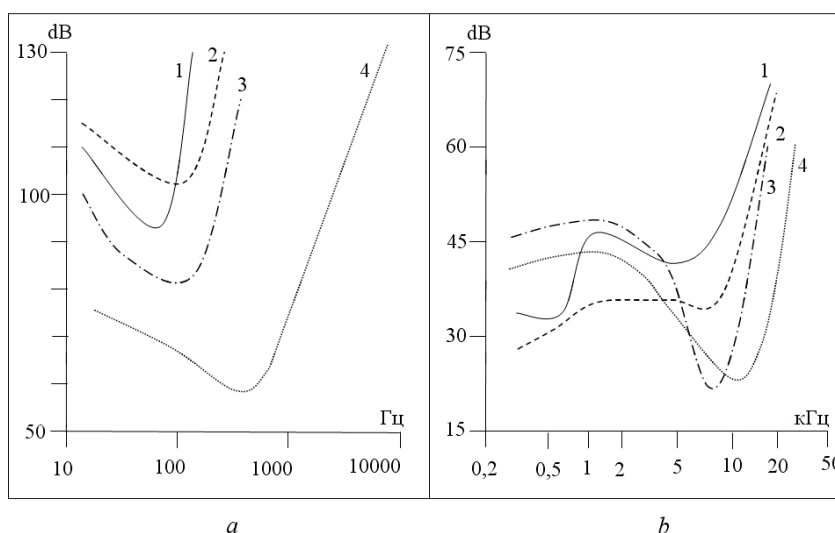


Рис. 1. Примеры аудиограмм нескольких видов рыб (a) и грызунов (b)
 a: 1- камбала, 2 - лосось, 3 – треска, 4 - зубатка, b: 1 – белка, 2 - бурундук, 3 - желтый суслик, 4 – тушканчик. По оси абсцисс – частота звука, по оси ординат – уровень звукового давления в децибелах.

На рис. 2 для каждого класса позвоночных животных приводятся интервалы известных порогов любого биологического действия звука (поведенческого, рефлекторного, электрофизиологического и др.) на особей различных видов из этого класса (по: [1,2,6]).

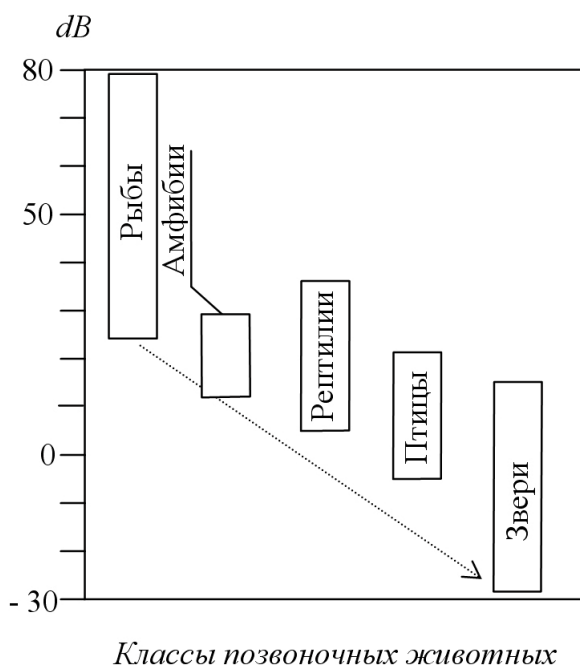


Рис. 2. Чувствительность слуха у позвоночных разных классов
 Приводятся объединенные интервалы чувствительности по классам позвоночных. По оси ординат: интенсивность звукового давления в децибелах (dB) относительно уровня 10^{-5} Па. Чувствительность определена по минимальному из всех известных порогов реакций (этологической, рефлекторной, электрофизиологической и др.) (по: Вартамян, 1981, с изменениями и дополнениями)

Очевидно, что диапазоны пороговых значений звукового давления:

- существенно варьируются в пределах классов;
- ещё в большей степени различаются у разных классов;
- демонстрируют общую закономерность снижения по мере эволюционного усложнения организации позвоночных (наиболее чувствительны к звуку – птицы и млекопитающие).

3. Некоторые особенности реакции птиц на акустические воздействия

Птицы являются особо чувствительными реципиентами техногенного акустического воздействия, характерными представителями экосистем прибрежных и околородных экосистем и, часто, приоритетными объектами охраны в ООПТ.

Воздействие техногенных шумов вследствие распугивания птиц искажает их поведение и, в частности, нарушает их коммуникативные акустические сигналы [7-9]. При этом действие техногенных шумов на орнитофауну существенно превышает таковое шумов природного происхождения сопоставимого уровня [9].

Сведения относительно пороговых уровней звукового давления или звука, вызывающих беспокойство птиц, несколько противоречивы. Это объясняется, видимо, и разнообразием видов птиц, акустическое воздействие на которых наблюдалось разными исследователями, и спецификой самого воздействия, прежде всего – режимом и спектром техногенных шумов. Так, например, известно, что гнездящиеся крачки реагируют на шум интенсивностью 90–95 дБА (4 % птиц колонии пугаются, 2–4 % взлетает). Чёрные казарки и пеганки, кормящиеся на мелководье, начинали реагировать на авиационные шумы с уровнем звука от 65 дБА (обзорная работа Кемпфа и Хюппопа: [10]). Гнездящиеся вблизи аэропорта Кеннеди серебристые чайки не реагировали на обычные реактивные самолёты при уровне звука 91,8 дБА, однако реагировали на сверхзвуковой "Конкорд" (108,2 дБА). Установлено, что пролёт вертолётa на расстоянии 700 м не действует на птиц при уровнях звука 71,5 дБА и ниже, наблюдавшийся порог поведенческой реакции – 80,5 дБА [3].

В целом же, выполненный анализ литературы позволяет предварительно указать как ориентировочный – предельно допустимый уровень шума, не вызывающий у птиц патологических поведенческих и физиологических реакций – **35–40 дБА**, что соответствует общему уровню шума естественной звуковой среды.

Следует также учесть следующее. Эксплуатация порта оказывает на птиц гораздо меньшее влияние, чем строительство порта. Морские птицы многих видов даже привлекаются буровыми установками и движущимися судами. Уровень шума при строительстве портов обычно существенно выше, чем при их эксплуатации. Таким образом, объектом синэкологического нормирования с использованием птиц как тест-объектов должен являться именно техногенный шум, сопровождающий портовое строительство [6].

Таким образом, целесообразно рассматривать околородных, водоплавающих и морских птиц как оптимальный биоиндикатор воздействия портового шума и как тест-объект для его синэкологического нормирования.

Заключение

Шумовое воздействие на биологические объекты и ООПТ закономерно возрастает в связи с интенсивным отечественным портостроением и эксплуатацией создающихся портов. Оценка и прогнозирование ожидаемых акустических техногенных воздействий при проектировании портов основаны на нормативах шума, разработанных для человека. Однако у многих видов животных область частот слышимого для них звука весьма отлична от таковой у человека и может даже не пересекаться с ней. Общий диапазон частот, при которых звуки слышны различным животным, охватывает не менее восьми порядков величин (от сотых долей Гц до сотен кГц), в то время как для человека этот интервал ограничен четырьмя порядками величин (ориентировочно 20 Гц–20 кГц). Организмы различных биологических видов характеризуются иными, чем у человека, аудиограммами и нередко демонстрируют намного более низкие биологические пороги реакций на звуковое давление.

Таким образом, оценка ожидаемого воздействия звукового давления на животных, основанная на его сравнении с нормативами "октава – порог биологического действия", разработанными для человека, носит весьма условный характер. Соответственно, действующие нормативы, защищающие человека от акустических воздействий, непригодны для регламентации влияния шума на другие биологические виды. Это определяет необходимость разработки оценки и нормирования воздействия техногенного шума (в частности, связанного со строительством и эксплуатацией портов) на биоту и особо охраняемые природные территории (ООПТ).

Из позвоночных животных птицы часто оказываются объектами особой охраны (в частности, в специально создаваемых для этого ООПТ), наиболее чувствительны к шумам и нуждаются в приоритетной нормативной защите от акустических воздействий. На основании анализа данных литературы и фондовых материалов ООО "Эко-Экспресс-Сервис", для птиц можно предварительно указать как ориентировочный предельно допустимый (не вызывающий патологических поведенческих и физиологических реакций) уровень шума 35–40 дБ (что примерно соответствует общему уровню шума естественной звуковой среды). В качестве предварительной условной величины предельно допустимого уровня техногенного шума, особенно в зонах воздействия на ООПТ и для экосистем с высоким биоразнообразием, может быть

рекомендовано временное использование нормативов шума, установленных ВСН-8-89 применительно к дорожному строительству: не более **35 дБА** днём и не более **30 дБА** ночью.

Однако при нормировании воздействия шума на экологические системы с высоким уровнем биологического разнообразия более целесообразно учитывать допустимые уровни звукового давления для шумов различных частот (пооктавно) в более широком частотном общем частотном диапазоне, чем для человека (что потребует дополнительных целевых биоакустических исследований). В общем случае это может быть объединённый диапазон всех слышимых животными звуков, который охватывает не менее восьми порядков величин (от сотых долей Гц до сотен кГц). Если же режим ООПТ предусматривает избирательный режим защиты отдельных биологических видов, возможна целевая разработка нормативов шума для таких ООПТ в более узком частотном диапазоне – с учётом суперпозиции диапазонов частот слышимых звуков и аудиограмм всех охраняемых видов.

Список литературы

1. Вартанян И.А. Звук-слух-мозг. – Л.: Наука, 1981. – 175 с.
2. Жигульский В.А. Условия экологической безопасности портостроения в Финском заливе. I. Оценка и нормирование воздействия на экосистему / В.А. Жигульский, В.Ф. Шуйский, Н.А. Соловей, О.А. Заболоцкая // Гидротехника. – 2010. – № 3(20)/2010. – С. 77–80.
3. Ильичев В.Д. Экологические аспекты авиационного зашумления окружающей среды // Успехи современной биологии. – 1997. – Т.117, №3. – С. 300–309.
4. Кузьмина Г.Н. К вопросу о нормировании шумовых воздействий промышленных предприятий на особо охраняемых природных территориях / Г.Н. Кузьмина, П.С. Лапковская, М.Н. Стуликова // Проблемы охраны атмосферного воздуха: Научн. труды НИИ «Атмосфера». – 2010. – С. 91–107.
5. Романов С.Н. Биологическое действие вибрации и звука. – Л.: Наука, 1991. – 158 с.
6. Соловей Н.А. Снижение шума при проектировании инфраструктуры морских и речных портов // Защита населения от повышенного шумового воздействия: сб. докл. II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием (Санкт-Петербург, 17-19 марта 2009 г.). – СПб., 2009. – С. 500–507.
7. Wayne E. M. Impacts of Chronic Anthropogenic Noise from Energy-Sector Activity on Abundance of Songbirds in the Boreal Forest / E. M. Wayne, L. Habib, S. Boutin // Conservation Biology. – 2008. – V. 22, № 5. – P. 1186-1193.
8. Brumm H. The impact of environmental noise on song amplitude in a territorial bird // Journal of Animal Ecology. – 2004. – V. 73, № 3. – P. 434–440.
9. Huppop O. Störungsbewertung anhand physiologischer Parameter // Ornithologische Beobachter. – 1995. – B. 92. – S. 257–268.
10. Kempf N. Behaviour of meadow birds towards aircraft close to an airport / N. Kempf, O. Huppop // Wader Study Group Bull. – 1995. – № 76. – P. 21.

Рецензенты:

Шуйский В.Ф., д.б.н., профессор, начальник научно-аналитического отдела ООО "Эко-Экспресс-Сервис", г. Санкт-Петербург.

Гогоберидзе Г.Г., д.э.н., к.ф.-м.н., главный научный сотрудник, ГОУ ВПО «Российский государственный гидрометеорологический университет» (РГГМУ), г. Санкт-Петербург.

: