



А.И. Веденев

Анализ

влияния морской
и прибрежной сейсморазведки
и бурения скважин
на миграцию лосося
на о. Сахалин



Москва 2009 г.

Веденев А.И.

**Анализ влияния морской и прибрежной сейсморазведки и
бурения скважин на миграцию лосося на о. Сахалин**

Работа выполнена при поддержке WWF России
Москва, 2009

Оглавление

Введение	2
Методы сейсмосьемки. Сейсморазведка у берегов Сахалина.....	5
Уровни звука и частотный диапазон сеймопушек. Сейсмические источники, применяемые на шельфе о. Сахалин. Шум бурения скважин	7
Механизм слуха у рыб. Что известно о слухе лососевых.....	9
Акустическое воздействие от сейсморазведки и бурения скважин на рыб и планктон...	11
О «зонах безопасности» при проведении сейсморазведки в период нерестовых и покатных миграций лосося.....	13
Выводы.....	15
Литература.....	16

Введение

В последние годы появилось несколько обзорных работ, посвященных анализу влияния сейсморазведки на рыб и рыбный промысел, из которых стоит отметить (J. Dalen, 2007), как наиболее полную. В этой работе есть немало ссылок, на то, что по рассматриваемой теме данные либо не полные, либо противоречивы или вообще отсутствуют. Поэтому, в условиях нарастающего освоения шельфовых месторождений в морях России, исследование влияния сейсморазведки на морскую биоту превращается в важную и первоочередную задачу. В настоящем обзоре мы кратко рассмотрим методы сейсморазведки, характеристики применяемых пневмоисточников, механизм слуха у рыб и литературные данные по акустическому воздействию пневмоисточников на гидробионты. Особое внимание будет уделено сейсмоакустическим исследованиям на о. Сахалин и вопросам необходимости разработки мер смягчения негативного акустического воздействия сейсморазведки на тихоокеанский лосось.

В настоящее время практически весь морской шельф о. Сахалин разделен на лицензионные участки, освоение которых планируется по нефтегазовым проектам «Сахалин 1,2,...9». Расположение лицензионных участков нефтегазовых проектов на шельфе о. Сахалин показано на Рис. 1. Промышленная добыча уже проводится по проектам «Сахалин-1» (включает месторождения «Чайво», «Одопту» и «Аркутун-Даги») и «Сахалин-2» (включающий месторождения «Пильтун-Астохское» и «Луньское»), которые разрабатываются на условиях Соглашения о Разделе Продукции.

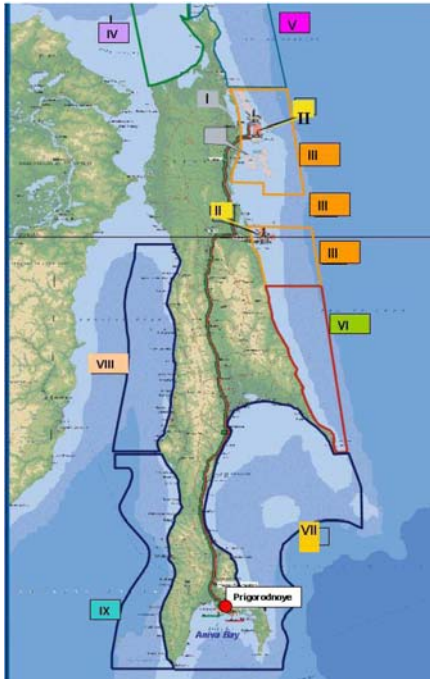


Рис.1 Расположение лицензионных участков нефтегазовых проектов “Сахалин I – IX”.

В связи с широкомасштабным освоением шельфа по сахалинским нефтегазовым проектам, популяции рыб и морских млекопитающих о. Сахалин подвергаются нарастающему антропогенному воздействию, причем прибрежная сейсмозащита, наряду с возможными сбросами токсичных отходов, по – видимому, является одной из главных составляющих этого негативного воздействия.

Из, примерно, 50 видов промысловых рыб, для Сахалина наибольшее значение имеет семейство лососёвых (*Salmonidae*.) В уловах лососевых на Сахалине преобладает горбуша (*O. gorbuscha*), на втором месте по значимости стоит кета (*O. keta*). Нерест лососёвых рыб проходит в течение августа-декабря. Лосось относится к проходным рыбам и в разные периоды своей жизни (нерест, эмбриональная и личиночная стадии, покатная миграция молоди, нагул, нерестовый ход) связаны с местообитаниями как в открытом море, так и в реках и заливах. Поэтому особое беспокойство на о. Сахалин вызывает вопрос сохранения популяции лосося, так как сейсмические исследования проводятся в районах, где проходят пути нерестовых и покатных миграций лососевых рыб.

С одной стороны, аборигены Сахалинской области для которых морские биоресурсы и, прежде всего лосось, имеют этнообразующее значение, вместе с рыбопромысловыми компаниями требуют запрещения или ограничения прибрежной сейсмозащиты в период путины. С другой стороны, нефтяные компании вообще отрицают наличие негативного воздействия на взрослые особи рыбы, а местные и федеральные власти оправдывают потенциальный риск негативного влияния на рыбные ресурсы Охотского моря высокими доходами от сахалинских нефтяных проектов.

В настоящем обзоре, рассмотрены данные из современных литературных источников, в попытке ответить на вопросы «Насколько серьезным может быть негативное воздействие прибрежной сейсмозащиты на нерестовые миграции тихоокеанского лосося и какие меры необходимы для сохранения устойчивого рыболовства лососевых на о. Сахалин».

Методы сейсмосъемки. Сейсморазведка у берегов Сахалина

В настоящее время, сейсмические исследования являются основным инструментом поиска и оконтуривания залежей нефти и газа на морском шельфе. Эти исследования выполняются путем зондирования дна интенсивными звуковыми волнами для получения 2-х или 3-х мерных профилей отражающих границ в толще дна. По стратиграфии границ геологического строения дна и интенсивности волн, отраженных от этих границ можно судить об акустических свойствах геологических пластов, которые могут указывать на характерные признаки нефти или газа. По этим признакам выделяются объекты для поискового бурения скважин.

Для сейсмической съемки используются специальные суда которые буксируют источник сейсмических сигналов - батарею из пневмопушек излучающих короткие интенсивные звуковые импульсы и систему для приема отраженных сигналов – сейсмическую косу, представляющую собой акустическую антенну, буксируемую на глубине 5-8 м. Коса состоит из длинного пластикового кабель - шланга (до 8 км) с размещенными внутри гидрофонами (пьезодатчиками) соединенными с системой регистрации данных на судне.

Двухмерная (2D) съемка проводится на ранних стадиях, при поиске месторождений на больших по площади акваториях. Для приема используется только одна сейсмическая коса, а судно «отстреливает» сетку параллельных линий, причем расстояние между линиями отстрела достаточно большое (1 км или больше). Обычно, при 2D сейсморазведке, пневмопушка «выстреливает» сжатый воздух через каждые 20- 30 м пути судна, т.е. примерно через 10 сек при скорости судна 4-5 узлов (10 км/час).

Трехмерная (3D) съемка обычно используется нефтяными компаниями для оконтуривания уже открытых месторождений, так как она обеспечивает большее разрешение деталей в толще дна – с ячейками 25 x 25 м . Для этого используется большее количество сейсмокос (стримеров) – от 6 до 20, буксируемых на расстоянии 100 м друг от друга, а также две буксируемые батареи пневмопушек, стреляющих поочередно. В 3D съемке обычно используются более мощные по сравнению с 2D источники звука.

Так называемая 4D съемка - это повторная 3D сейсморазведка, в точности повторяющая предыдущую съемку (выстрелы той же амплитуды и в тех же точках) для мониторинга истощения или перемещения подземных резервуаров после начала добычи нефти или газа. Она повторяется через каждые 3-4 года до конца жизни месторождения.

Для поиска и разработки месторождений нефти и газа на шельфе нефтяные компании выполняют колоссальный объем работ по сейсмической съемке. Для примера, на Рис.2 показаны данные (J. Dalen, 2007) по темпам роста годовых объемов работ по сейсморазведке у побережья Норвегии.

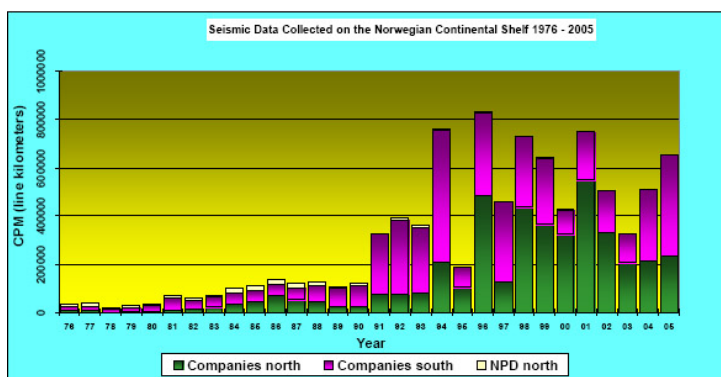


Рис.2 Объемы работ по сейсмической съемке на Норвежском шельфе.

Здесь, начиная с середины 90-х г. объемы работ доходят до 600 000 – 800 000 погонных км сейсмической съемки, причем доля 3D постоянно увеличивается. Так в 2006г, из общего объема в 719 844 км, 45 646 км были выполнены методом 2D, а 674198 км методом 3D съемки.

По сравнению с Норвежским шельфом на шельфе Сахалина выполнено еще очень мало сейсмических исследований. На Рис.3 показаны треки 2D съемки (всего 28 000 погонных Км) выполненные ОАО «Дальморнефтегеофизика» (ДМНГ) в 2004-2007г. ДМНГ занимает более 90% рынка услуг сейсмоземки на Сахалине.

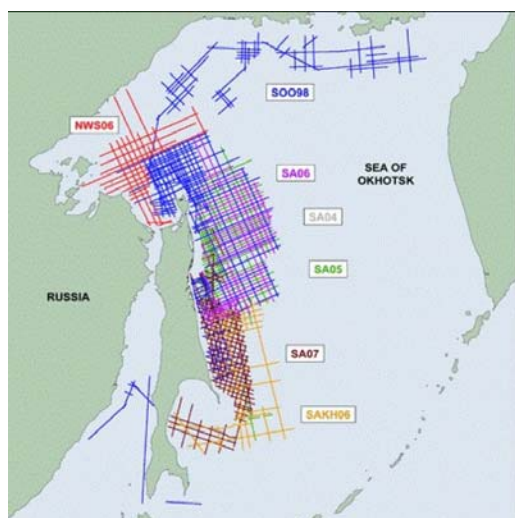


Рис.3 2D сейсмоземка ОАО ДМНГ на шельфе о. Сахалин (данные компании TGS-NOPEC)

Отметим, что в 2002-2003гг на Сахалине сейсмоземка не проводилась. В 2008г. ДМНГ проводило 2D съемку на Кайганско-Васюканском лицензионном участке (для ЗАО «Элвари Нефтегаз») и в 2009г. собирается продолжать сбор 2D данных на нескольких участках северо-восточного шельфа включая Кайганско-Васюканский и Восточно-Шмидтовский лицензионный участок (2000 км, ЗАО «Восток –Шмидт Нефтегаз») и Венинский лицензионный участок (ООО "Венинефть").

Данные по 3D съемке за последние годы включали работы на Лунском участке в 2003г. и полуострове Шмидта в 2007г. (примерно 9000 квадратных Км). Запланированная на 2009г. 4D съемка на Астохском участке (для компании «Сахалинская Энергия») отсрочена до 2010г. по рекомендации Международной Консультативной Группы по Серым Китам (WGWAP). Рекомендация по переносу сейсморазведки на 2010 г. была дана в связи с резким (на 40 %) уменьшением числа особо охраняемых западных серых китов в 2008 г. в Пильтунском районе нагула. Наиболее вероятной причиной сокращения численности серых китов в традиционном районе нагула была названа сейсморазведка на Кайганско-Васюканском участке, примыкающем к району нагула с севера и забивка свай на Одоптинской косе компанией Эксон Нефтегаз в июне и сентябре 2008 г (Отчет WGWAP, 2009) .

В документе «Программа геолого-геофизических работ до 2015 года» (Заключение, 2005) указаны планы ДМНГ по сейсморазведке на Сахалинском шельфе до 2015г.: «Общий объем работ 2D по Охотскому морю, включая Татарский пролив (Японское море) и восточный шельф Южных Курил, составит 79000 погонных км, объем работ 3D по Охотскому морю, включая Татарский пролив (Японское море) и восточный шельф Южных Курил составит 51500 км²». Указанные планы по объемам работ представляются весьма скромными, если их сравнивать с объемом ежегодной сейсмосъемки в сотни тысяч погонных км на шельфе Норвегии. Для поиска новых месторождений нефти и газа будет проводиться 2D съемка, для их локализации 3D, а для мониторинга в процессе эксплуатации – повторная 4D съемка. *Поскольку весь шельф о. Сахалин является перспективным на нефть и газ, объемы работ по сейсморазведке будут постоянно нарастать, особенно из-за необходимости проведения регулярной повторной 4D съемки.*

Уровни звука и частотный диапазон сейсмопушек. Сейсмические источники, применяемые на шельфе о. Сахалин. Шум бурения скважин.

Пневмопушка, представляет собой контейнер объемом от 0.5 до 10 литров, куда компрессором нагнетается давление воздуха до 140 атм, а затем происходит резкий выхлоп сжатого воздуха в воду. Из-за резкого роста воздушного пузыря (и его последующих колебаний) в водной среде образуются упругая волна сжатия, а затем разряжения в виде короткого импульса. Эта звуковая волна распространяется в воде, затем в слоях донных осадков, отражается от их границ и возвращается в воду, где и регистрируется гидрофонами сейсмокосы. Объемы пневмопушек обычно представлены в кубических дюймах и для перевода в литры используется соотношение 1куб. дм = 0.02 литра. Энергия импульса одиночной пушки находится в частотной полосе до 3 КГц с максимумом в полосе 5-200 Гц. Среднеквадратичные уровни звукового давления одиночной пушки составляют около 150-200 дБ относительно 1 мкПа на расстоянии в 1м.

Для увеличения амплитуды звукового давления в импульсе и снижения частоты (энергия импульсов излучаемая на частотах свыше 100 гц бесполезна, так как быстро затухает в дне), а также увеличения направленности излучения в сторону дна, отдельные пневмопушки объединяют в группы (батареи). Для иллюстрации, На рис.4, показан спектр импульса батареи пневмопушек типа Volt.

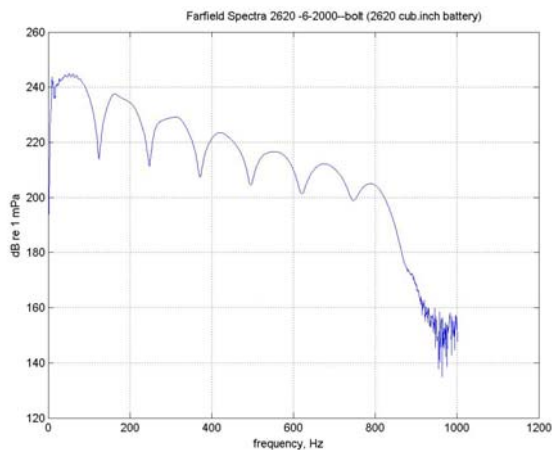


Рис. 4 Спектр импульса пневмоисточника типа Bolt с суммарным объемом пушек 2620 дм³.

Основная энергия импульса от сейсмического источника в виде батареи пушек находится в полосе частот 5-120 Гц (с максимумом в полосе 10- 80 Гц), а полный размах амплитуды импульса (от положительного до отрицательного максимумов) пропорционален суммарному объему пушек, но зависит, также, от их расположения в группе и глубины буксировки. Например,

- в 1997 г. при 3D сейсморазведке на Пильтун-Астохском участке компания «Сахалинская Энегия» на судне Nordic Explorer использовала пневмоисточник (ПИ) общим объемом 52.4 литра (2620 дм³) с амплитудой звукового давления (приведенного к расстоянию 1м) 79.9 бар-м, что эквивалентно 257 дБ_{пик-пик} отн. 1 µПа ;

- в 2001г., при 3D съемке на участке Одопту, ДМНГ по поручению компании «Эксон нефтегаз» использовала ПИ общим объемом 1640 дм³, с амплитудой звукового давления 251.5 дБ_{пик-пик} отн. 1 µПа (ЕМА, 2007);

- в 2009г при 2D съемке на Венинском и Кайганско - Васюканском блоках ДМНГ намерено использовать новые ПИ типа "APG Bolt Technology" общим объемом 750-800 куб. дюймов с амплитудой звукового давления 30-36 бар-м (около 250 дБ отн. 1 µПа на 1м);

- запланированная компанией «Сах. Энегия» на 2010г 4D съемка на Астохском участке должна полностью повторить съемку 1997г, следовательно, предполагает использование ПИ общим объемом (52.4 литра) с амплитудой давления ~ 257 дБ дБ_{пик-пик} отн. 1 µПа на 1м.

В документе (Заключение, 2005) указаны планы ДМНГ по использованию на Сахалинском шельфе до 2015г. сейсмических судов с батареями ПИ типа Bolt Long Life и G-Gun:

- с/с «ZEPHYR-I» - Bolt Long Life 1900-LL-х, эффективным общим объемом около 50 л, рабочее давление 136 атмосфер, сгруппированы в 4 линии по 7-8 ПИ в каждой. Пневмоисточники буксируются за судном на глубине 5-7 м,

- с/с «ORIENT EXPLORER» - Bolt Long Life 1500 и Bolt 600B, общим объемом около 82 л, рабочее давление 136 атм, сгруппированы в 2 линии по 3 сублинии по несколько ПИ в каждой,

- с/с «RAMFORM VANGUARD» - SODERA G-Gun, общим объемом около 101 л, рабочее давление 136 атм, сгруппированы в 2 линии по 3 сублинии по несколько ПИ в каждой.

Как видим, ДМНГ, обычно не указывает уровни сейсмических импульсов от ПИ на своих судах. Однако, для общих объемов пневмоисточников – от 30 до 100 литров пиковые значения уровней звукового давления находятся в пределах 250 - 265 дБ_{пик-пик} отн. 1 µПа на 1м или примерно 240-255 дБ для среднеквадратических значений амплитуды.

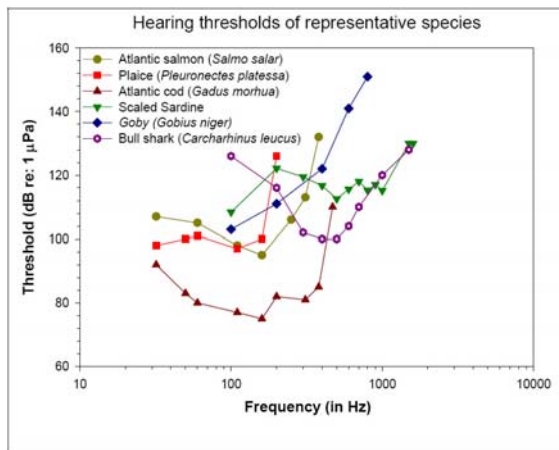
Данные по уровням шума при бурении скважин на шельфе о. Сахалин в литературе практически отсутствуют. По своей природе подводный шум бурения является непрерывным в отличие от импульсного характера сигналов сейсморазведки. Среднеквадратические значения уровня шума от буровых установок значительно ниже уровней сигналов от пневмоисточников и по данным монографии (J. Richardson, 1995) составляют порядка 170 - 190 дБ отн. 1 μ Па на 1 м. Их спектры обычно содержат мощные инфразвуковые тональные компоненты, связанные с гармониками частоты вращения бурового ствола и низкочастотные дискреты, связанные с работой других механизмов, таких как, например, дизельгенераторы. Уровни шума бурения в значительной мере зависят от типа и способа установки буровой платформы в море. Их уровни и характеристики спектра похожи на шум от крупных судов таких, например, как супертанкеры. Соответственно, акустическое воздействие шума буровых платформ аналогично негативному воздействию от шумов судоходства.

Число поисковых скважин на Сахалинском шельфе постоянно увеличивается. Известно, что в 2009г запланировано бурение разведочной скважины на Киринском лицензионном участке (проект «Сахалин –3», используется полупогружная буровая установка «DooSung»), и две поисковые скважины ООО "Венинефть" - на Венинской структуре блока (в 10 Км от берега, на глубине моря в 25 м) и Северо-Венинской структуре, (в 9 км от берега, на глубине в 21 м).

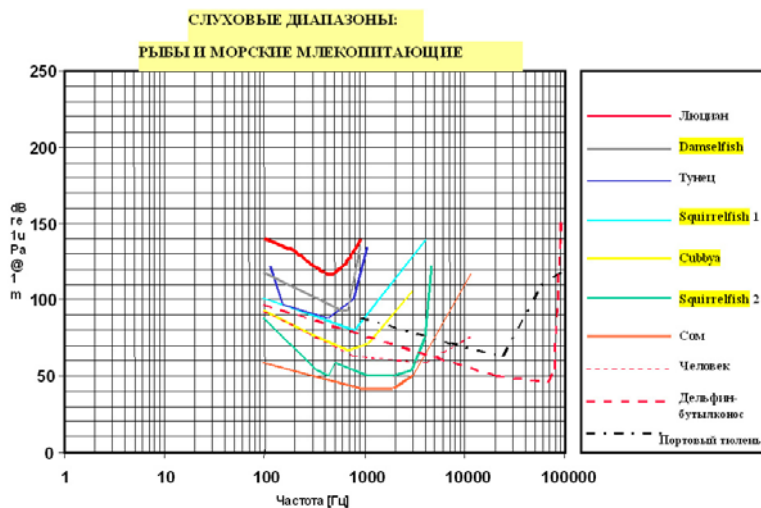
Механизм слуха у рыб. Что известно о слухе лососевых.

Для оценки уровня звука обычно измеряют амплитуду звукового давления. Однако звук распространяется в среде как волны сжатия и разряжения среды. При этом реальные частицы среды из-за градиента звукового давления испытывают ускорение и перемещаются с некоторой колебательной скоростью. Колебательная скорость частиц это векторная величина, имеющая направление. Для простых ситуаций – вдали от источника звука, когда волны можно считать сферическими или плоскими, колебательная скорость частиц пропорциональна звуковому давлению.

Считается (Propper et al., 2003), что рыбы имеют более примитивные органы слуха, чем морские млекопитающие и в основном чувствительны к колебаниям частиц среды, а не к звуковому давлению. Известно, что большинство видов рыб имеет низкочастотный слух, с наилучшей чувствительностью в полосе частот до 1 КГц. Некоторое представление о зависимости порога чувствительности слуха рыб от частоты (т. н. аудиограммы) можно видеть на Рис. 5а, по данным из (Fau, 1988) и на Рис. 5б, по данным (Мак Коли, 1994), где представлены также аудиограммы дельфина, тюленя и человека. Исследования показали, что *атлантический и тихоокеанский лосось, имеет чувствительный слух и в области инфразвуковых частот 10 – 35 Гц (Knudsen et al. 92, 94, 97)*. Этот факт является крайне важным, так как известно, что в спектрах звука от бурения скважин и сейсморазведки как раз и содержатся мощные низкочастотные и инфразвуковые компоненты, которые лосось хорошо слышит.



5а, По данным (Fay, 1988)



5б, По данным обзора (McCauley, 1994)

Рис. 5 Пороги чувствительности слуха рыб, морских млекопитающих и человека.

Было обнаружено, по крайней мере, два механизма восприятия звука рыбой.

Первый - это инерционное движение отолита - небольшой массы карбоната кальция внутреннего уха рыбы, имеющего в три раза большую плотность, чем остальная часть рыбы (которая близка к плотности воды). Отолит окружен сенсорным эпителием с множеством сенсорных волосковых клеток. В звуковом поле частицы эпителия вместе с частицами всей рыбы двигаются с колебательной скоростью частиц среды, а более плотный отолит «отстает» из-за инерции и прогибает волоски сенсорных клеток во внутреннем ухе. Это интерпретируется центральной нервной системой как звук.

Второй механизм связан с наличием внутри рыбы газовых полостей, таких как плавательный пузырь. Пульсации оболочки плавательного пузыря под воздействием звукового давления

усиливают движение частиц тела рыбы с колебательной скоростью звука. Так появляется дополнительный механизм восприятия рыбами давления звука. При близком расположении пузыря (или другой газовой полости) к внутреннему уху, этот дополнительный механизм повышает чувствительность слуха в более широкой полосе частот (таких рыб относят к классу «specialists»). Рыбы, у которых отсутствует плавательный пузырь или отсутствует канал передачи колебательного движения от оболочки пузыря к внутреннему уху, имеют только низкочастотный слух и классифицируются как «generalists». Лососевые, хотя и имеют плавательный пузырь, но он часто бывает не заполнен, расположен далеко от внутреннего уха и, по мнению (Hawkins and Johnston, 1978) не играет роли в детекции звука.

Таким образом, тихоокеанский лосось относится к классу «generalist», его слух, скорее всего, не реагирует на звуковое давление, а воспринимает колебания самих частиц в звуковом поле, а частотный диапазон его слуха ограничен частотами от 5-10 Гц до 500-600 Гц.

Кроме того, есть свидетельства (Непрошин.А.,1972), что тихоокеанский лосось сам издает коммуникационные звуки на частотах в районе 500 Гц. Отметим также, что кроме внутреннего уха, многие рыбы имеют также дополнительную систему детекции колебаний среды т.н. «литеральные линии» из сенсорных клеток вдоль тела, способную детектировать слабые низкочастотные колебания воды до 200 Гц. (Hastings and Popper, 2005)

Акустическое воздействие от сейсморазведки и бурения скважин на рыб и планктон.

По степени тяжести акустическое воздействие сейсморазведки на рыб можно разделить на:

Летальное	(взывающее смертельный исход);
Патологическое	(повреждения клеток или тканей, что может вызвать преждевременную смерть или иные последствия, такие как потерю или сдвиг порога слуха (PTS, TTS) или снижение плодовитости);
Поведенческое	(реакции испуга, беспокойства, стресса, прерывание нереста, избегание акватории с высоким уровнем шума, кратковременный сдвиг порога слуха.

Летальное.

Шум бурения скважин не вызывает летального исхода у морской биоты.

В работе (McCauley, 1994) есть свидетельство о том, что уровни импульсов от пневмопушки до 240 дБ отн. 1 μ Па не вызывают смертельного исхода у взрослой рыбы, однако в работе (Turnpenney and Nedwell, 1994) показано, что при уровнях 226-234 дБ у лососевых происходил разрыв плавательного пузыря, а при уровнях 192-198 дБ лосось был парализован (хотя и восстанавливался через 30 мин). *Рыбы наиболее уязвимы к воздействию «ударной волны» на ранних стадиях развития. Летальные последствия для икры, личинок и мальков наблюдаются в непосредственной близости (1-10 метров) от пневмопушки при уровнях свыше 200 дБ отн. 1 μ Па (Kosheleva, 1992; McCauley, 1994; Booman et al., 1996).*

Исходя из подобных данных, в настоящее время в России при проведении Государственной экологической экспертизы расчет компенсации урона от морской сейсморазведки подсчитывается только по биомассе погибшего в радиусе 5 м от пневмопушек зоопланктона

(кормовой базы рыб) и гибели ихтиопланктона - икры и личинок рыб. Расчеты основываются на сезонной плотности биомассы зоо и ихтиопланктона и мощности пневмоисточников.

В работе (Заклучение, 2005) расчет потери рыбопродукции от гибели ихтиопланктона для Охотского моря в результате прямой гибели икры, личинок и мальков рыб дает от 1 до 1.5 тонны на 1000 погонных км. При этом потери рыбопродукции от гибели кормовой базы рыб прогнозируются на уровне 0.5 - 0.7 т/1000 пог. км в зависимости от мощности пневмоисточника сейсмического судна. Состав планктона подвержен значительной видовой, сезонной и многолетней изменчивости. Например, биомасса летнего зоопланктона северо-восточного Сахалина в верхнем 50 - метровом слое достигает $3,5 \text{ г/м}^3$, составляя в среднем 950 мг/м^3 , преобладают копеподы, однако также многочисленны личинки крабов и креветок (12 видов). Наибольшее число видов в ихтиопланктоне наблюдается в июле - до 16 видов рыб, в том числе дальневосточной наваги, тихоокеанского минтая, разных видов камбалы, а также личинки дальневосточной мойвы. В середине июля, здесь на долю икры минтая приходится до 50 % от общей численности ихтиопланктона. Анализ сезонного и пространственного распределения икры и личинок рыб в дальневосточных морях позволяют утверждать, что наибольшее негативное воздействие на планктон будет наблюдаться в мае - июле в период наиболее интенсивного нереста. Минимальная гибель ихтиопланктона от пневмоисточников бывает в ноябре - декабре, когда нерест наиболее многочисленных летнерестящихся видов рыб завершен. Очевидная гибель зообентоса при проведении прибрежной сейсмосьмки на мелководье в расчетах ущерба от сейсморазведки учитывается редко.

Однако воздействие сейсмопушек на гидробионты не ограничивается гибелью планктона (а, на мелководье и бентоса) в непосредственной близости от пневмоисточников. На расстояниях от 5 м до 1 км и более (в зависимости от мощности пневмопушки и условий распространения звука в районе) могут наблюдаться серьезные патологические эффекты, в том числе и у взрослых особей рыбы. Это ставит под сомнение корректность применяемой методики расчета потери рыбопродукции от сейсморазведки.

Патологическое.

Данные по патологическому воздействию звука на рыб, крайне ограничены и относятся к рыбам, помещенным в садки и клетки. Два исследования с непрерывными сигналами показали, что чистый тон высокой интенсивности (свыше 180 дБ отн. $1 \mu\text{Па}$), воздействующий течение нескольких часов может вызывать повреждения чувствительных волосковых клеток органа слуха нескольких видов рыб (Enger, 1981; Hastings et al., 1996).

В известной работе Роберта МакКоули (McCauley et al. 2003), посвященной исследованию патологического воздействия пневмоисточника на рыб показано, что *при уровнях сейсмосигналов до 180 дБ отн. $1 \mu\text{Па}$ в период нескольких подходов и отходов сейсмосудна к садкам с отловленными рыбами (*Pagrus auratus*), в слуховых органах рыб был серьезно поврежден сенсорный эпителий*. Повреждение в виде выпадения волосковых клеток было очень сильным, причем свидетельство о восстановлении или замещении поврежденных волосковых клеток отсутствовали до 58 дней после воздействия. Повреждение части сенсорного эпителия, несомненно, ведет к постоянному сдвигу порога слуха (PTS). При меньших уровнях акустического воздействия может наблюдаться временный сдвиг порога слуха (TTS). Так в работе (Smith et al., 2004) отмечен, сдвиг порога слуха у goldfish даже при 10 мин экспозиции в белом шуме с уровнем 160-170 дБ отн. $1 \mu\text{Па}$ с восстановлением через 14 дней. Следует отметить, что из-за специфического устройства слуха рыбы, повреждение слуха может сопровождаться и повреждением ее вестибулярного аппарата, что приводит к потере ориентации рыб в пространстве.

Поведенческое

По данным разных источников, рыбы начинают проявлять реакции избегания района с повышенным уровнем звука при 130-142 дБ отн. 1µPa. Более высокие уровни звука обычно вызывают у рыб поведенческие реакции испуга и бегства от источника звука (Popper and Carlson, 1998); (Karlsen et al. 2004). Такие реакции называют «С-стартом», так как тело рыбы перед бегством принимает форму буквы «С». Множество работ подтверждают наличие таких реакций при воздействии сейсморазведки, например (Hassel et al., 2004) или (Wardle et al., 2001). Для выяснения частотного диапазона звука, вызывающего реакцию С-старта, Кнудсен (Knudsen, 1992, 1994, 1997) провел серию систематических исследований с лососем. Он получил достоверные данные о наличии у атлантического и тихоокеанского лосося устойчивых реакций избегания области озвученной инфразвуком. Лосось более эффективно реагировал на инфразвук 10 Гц, чем на звук 160 Гц. Высокая чувствительность слуха рыб к инфразвуку (до 30 Гц) подтверждается данными и других исследований (Sand et al., 2000); (Sonny et al., 2006). Следовательно, при *сейсморазведке лосось реагирует, прежде всего, на мощные инфразвуковые и низкочастотные составляющие, присутствующие в спектрах звука от пневмоисточника*.

Энгас в 1992г провел в Баренцовом море широкомасштабное исследование (Engas et al. 1993, 1996) пространственных размеров и продолжительности эффекта сейсморазведки (с сейснопупушками 82 литра, район 3x10 миль, 5дней) на количество рыбы в районе (оценка акустическими сонарами) и эффективность ее лова сетями и тралами. Эффект снижения улова зафиксирован на расстояниях до 18 миль от района сейсморазведки, в той же пропорции как общее снижение количества рыбы (по данным акустического картирования). Эффект снижения уловов продолжался несколько дней после окончания сейсморазведки.

Однако не всегда рыбы демонстрируют реакции бегства от высоких уровней звука пневмоисточников. Интересная реакция нескольких видов рыб на сейсмоисточник была отмечена в работе (Wardle et al. 2001) при наблюдениях на мелководных банках. Поведение рыб изменилось, но они не уходили от источника звука, поскольку из-за множества отражений от поверхности и дна и интерференции прямого и отраженных сигналов *на мелководье, рыбы не могли определить направление на источник звука и оставались под акустическим воздействием продолжительное время*. Эти данные противоречат распространенному мнению, что косяки рыбы всегда разбегаются из зоны воздействия сейсморазведки. Если сейсмические исследования проводятся в мелководных районах, где возможны многократные переотражения от поверхности и дна, акустическое воздействие может быть длительным и негативно сказываться на успехе нереста или выживании лосося при после нерестовых миграциях.

О «зонах безопасности» при проведении сейсморазведки в период нерестовых и покатных миграций лосося

В соответствии с рекомендациями принятыми в разных странах, для защиты морских млекопитающих от физического ущерба или чрезмерного беспокойства при сейсморазведке, должны быть установлены Зоны Безопасности – Мониторинга. Если там обнаружены морские млекопитающие в период работы сейсмопушек, немедленно должны приниматься меры смягчения акустического воздействия - остановка пневмопушек до тех пор, пока животные не покинут зону. В некоторых странах размеры этих зон установлены независимо от мощности используемых пневмоисточников, от 500 м в Англии и Канаде до 3 км в Австралии (Weir and Dolman, 2007). Однако более правильно определять безопасное расстояние в зависимости от мощности сейсмоисточника. Так, Национальным Морской Агентством по Рыбной ловле США (NMFS), для предупреждения повреждения слуха у китообразных установлен порог для допустимого акустического воздействия в 180 дБ скз отн. 1μПа в, для ластоногих этот порог равен 190 дБ отн. 1μПа, а также установлен порог в 160 дБ отн. 1μПа для исключения чрезмерного беспокойства морских животных. В последнее время рассматривается возможности уточнения этих порогов в зависимости от особенностей слуха у разных животных (высокочастотный, средне или низкочастотный слух) (Southall at al., 2007) или учета, в дополнение к уровню, времени экспозиции животных под акустическим воздействием (Vedenev and Nowacek, 2009). Радиусы зон безопасности обычно рассчитываются путем моделирования спада уровня звука с расстоянием в районе проведения сейсморазведки или прямым измерением, перед началом сейсмических работ. Как указано выше, по данным (Enger, 1981; Hastings et al., 1996; McCauley et al. 2003) порог в 180 дБ скз отн. 1μПа является порогом начала патологических эффектов с повреждением слуха у разных видов рыб, а не только у китообразных. Более того, из ограниченных данных (Wardle at., al. 2001; Karlsen et al. 2004; Hassel at., al.,2004), следует, что при воздействии сейсмоимпульсами стрессовые реакции рыб типа «С- старта» начинаются при уровнях свыше 160 дБ отн. 1μПа., которые так же являются и порогом для мониторинга чрезмерного беспокойства морских млекопитающих. Хотя аналогия очевидна, требуются дополнительные исследования, чтобы распространить на рыб методику мониторинга «зон безопасности» применяемую для защиты морских млекопитающих. Результаты исследования акустического воздействия сейсморазведки на ход миграций лосося в период массового нереста могут дать обоснование для применения указанных «зон безопасности» с целью защиты и сохранения популяции.

Наши расчеты спада уровня сейсмоимпульсов с расстоянием, выполненные для районов Сахалинского шельфа (Vedenev A., Avilov С. 2008), показывают, что при использовании в прибрежной 3D сейсморазведки на путях миграции лосося типичного пневмоисточника (257 дБ отн. 1μПа), *радиус безопасности от паталогического воздействия (>180 дБ отн. 1μПа) должен составить ~ 1.5 км от сейсмического судна.* Эти же расчеты показывают, что *реакции стресса и временный сдвиг порога слуха у лосося (уровни >160 дБ) могут наблюдаться до расстояний в 4-5 км, а реакции испуга и бегства из района с высокими уровнями сейсмоимпульсов до расстояний 10- 15 км.*

Выводы

- Объем работ по сейсмосьемке на шельфе о. Сахалин еще не велик и на порядок меньше чем у побережья Норвегии, но в ближайшие годы ожидается его значительный рост, в том числе из-за необходимости проведения регулярной повторной 4D съемки.
- В сейсмических исследованиях на шельфе Сахалина применяются сейсмоисточники с батареями пневмопушек общим объемом от 30 до 100 литров, у которых пиковые значения уровней звукового давления находятся в пределах 250- 265 дБ отн. 1 μ Па на 1м. Основная энергия импульса от батареи пневмопушек находится в полосе частот 5-120 Гц.
- Подводный шум бурения является непрерывным в отличие от импульсного характера сигналов сейсморазведки. Значения уровня шума от буровых установок значительно ниже уровней сигналов от пневмоисточников и составляют порядка 170-190 дБ относительно 1 μ Па на 1м. Уровни шума бурения в значительной мере зависят от типа буровой платформы и по уровню могут быть сравнимы с шумом от крупных судов, например таких как супертанкеры.
- Большинство видов рыб имеет низкочастотный слух, с наилучшей чувствительностью в полосе частот до 1 КГц. Исследования Кнудсена (Knudsen et al. 92, 94, 97) показали, что атлантический и тихоокеанский лосось, имеет чувствительный слух и в области инфразвуковых частот 10 – 35 Гц. Этот факт является важным, так как основная энергия импульса от источника в виде батареи пневмопушек, как раз и сосредоточена на низких и инфразвуковых частотах, которые лосось хорошо слышит.
- Из трех видов акустического воздействия на рыб - летального, патологического и поведенческого, исследован только вопрос летального воздействия на гидробионты. Рыбы наиболее уязвимы к воздействию «ударной волны» пневмоисточника на ранних стадиях развития. Летальные последствия для икры, личинок и мальков наблюдаются в непосредственной близости (1-10 метров) от пневмопушки. Биомасса гибнущего из-за сейсморазведки ихтиопланктона ниже убыли по естественным причинам и ущерб не отражается на популяционном уровне.
- негативное акустическое воздействие сейсморазведки, имеет место также при расстояниях более 5 м от пневмоисточников, где могут наблюдаться как патологические эффекты, так и стрессовые реакции страха и испуга которые могут вести к нарушению динамики нерестового хода лососей и снижать шансы на успешный нерест. Из-за условий распространения звука на мелководье, рыбы не всегда покидают районы с опасным акустическим воздействием. С течением времени, фактор негативного воздействия от регулярных работ по сейсморазведке, может сказаться на выживании популяции лосося.
- Критические пороги для уровней сейсмоимпульсов, которые приводят к повреждению слуха (180 дБ скз отн. 1 μ Па) или чрезмерному беспокойству (160 дБ скз отн. 1 μ Па) у китообразных и рыб примерно совпадают. В условиях непрерывного увеличения объемов работ по сейсморазведке на шельфе о. Сахалин, идеальным решением для сохранения популяции дикого лосося было бы распространение методики мониторинга «зон

безопасности» (180дБ и 160 дБ), применяемой сейчас только для морских млекопитающих, также и на рыб.

- Для сохранения устойчивого рыболовства тихоокеанского лосося, необходимо уже сейчас начинать разработку ограничительных мер по объемам, районам и срокам проведения сейсморазведки, а также кардинально изменить методику, используемую Государственной экологической экспертизой для расчета ущерба рыбопродукции от проведения сейсморазведки. Потери рыбопродукции из-за нарушения нереста и покатных миграций возможно на порядок больше чем гибель ихтиопланктона, зоопланктона или зообентоса в радиусе 5 м от пневмопушек. Необходимо учитывать также ущерб рыболовству от разгона косяков рыбы в радиусе 10-20 км от линий сейсмосьемки. Альтернативой или дополнением к ограничительным мерам по районам и срокам сейсморазведки может быть разработка методики мониторинга «зон безопасности» на путях миграций лосося. Актуальность научных исследований влияния прибрежной сейсморазведки на миграцию лосося, становится абсолютно очевидной.

Литература

- Booman, C., Dalen, J., Leivestad, H., Levsen, A., van der Meeren, T. og Toklum, K. 1996. Effekter av luftkanonskyting pa egg, larver og yngel. Undersokelser ved Havforskningsinstituttet og Zoologisk Laboratorium, UiB. (Engelsk sammendrag og figurtekster). Havforskningsinstituttet, Bergen. *Fisken og Havet*, nr. 3 (1996). 83 s.
- Engas, A., Lokkeborg, S., Ona, E., og Soldal, A.V. 1993. Effekter av seismisk skyting pa fangst og fangsttilgjengelighet av torsk og hyse. *Fisken og Havet*, nr. 3 – 1993. 111 s.
- Engas, A., Lokkeborg, S., Ona, E., and Soldal, A.V. 1996. Effects of seismic shooting on local abundance og catch rates of cod (*Gadus morhua*) og haddock (*Melanogrammus aeglefinus*). *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 53(10): 2238-2249.
- Fay, R. R. (1988). "Hearing in Vertebrates, A Psychophysics Databook." Hill-Fay Assoc., Winnetka, IL.
- Fahy, F.J. 1977. "Measurement of acoustic intensity using the cross-spectral density of two microphone signals." *J. Acoust. Soc. Am.* 62(4), pp. 1057–1059.
- John Dalen. 2007. Effects of seismic surveys on fish, fish catches and sea mammals. Report for the Cooperation group - Fishery Industry and Petroleum Industry Report no.: 2007-0512.
- Hawkins, A. D., and Johnstone, A. D. F. (1978). "The hearing of the Atlantic salmon, *Salmo salar*." *J. Fish.Biol.* 13, 655-673.
- Hastings, M.C. and A.N. Popper. 2005. Effects of Sound on Fish. Prepared for Jones & Stokes, Sacramento, CA, for California Department of Transportation, Sacramento, CA. 28 January.
- Hastings, M. C., Popper, A. N., Finneran, J. J., and Lanford, P. J. (1996). "Effect of low frequency underwater sound on hair cells of the inner ear and lateral line of the teleost fish *Astronotus ocellatus*." *J. Acoust. Soc. Am.* 99, 1759-1766.
- Hassel, A., Knutsen, T., Dalen, J., Skaar, K., Lokkeborg, S., Misund, O.A., Ostensen, O., Fonn, M., and Haugland, E.K. 2004. Influence of seismic shooting on the lesser sandeel (*Ammodytes marinus*). *ICES J. Mar. Sci.* 61: 1165-1173.
- Popper, A.N., Smith, M.E., Cott, P.A., Hanna, B.W., MacGillivray, A.O., Austin, M.E., and Mann, D.A. 2005. Effects of exposure to seismic airgun use on hearing of three fish species. *J. Acoust. Soc. Am.* 117 (6): 3958-3971.
- Karlsen, H.E., Piddington, R.W., Enger, P.S. and Sand, O. 2004. Infrasound initiates directional fast-start escape responses in juvenile roach *Rutilus rutilus*. *J. Exp. Biol.* 207:4185-4193.
- Kosheleva, V. 1992. The impact of air guns used in marine seismic explorations on organisms

living in the Barents Sea. Contr. Petro Pisciis II '92 Conference F-5, Bergen, 6-8 April, 1992. 6 s.

Knudsen, F. R., Enger, P. S., and Sand, O. (1992). "Awareness reactions and avoidance responses to sound in juvenile Atlantic salmon, *Salmo salar* L." *J. Fish Biol.* 40, 523-534.

Knudsen, F. R., Enger, P. S., and Sand, O. (1994). "Avoidance responses to low frequency sound in downstream migrating Atlantic salmon smolt, *Salmo salar*." *J. Fish Biol.* 45, 227-233.

Knudsen, F.R., Schreck, C.B., Knapp, S.M., Enger, P.S. & Sand, O. 1997. Infrasound produces flight and avoidance responses in Pacific juvenile salmonids. *J. Fish. Biol.* 51:824-829.

McCauley, R.D. 1994. "Environmental Implications of Offshore Oil and Gas Development in Australia - Seismic Surveys". In Swan et al. 1994 op cit: 21-121.

McCauley R. Fewtrell J. Popper A N. 2003. Effects of anthropogenic sounds on fish ears. *J. Acoust. Soc. Am.*, Vol. 113, No. 1.

NMFS. 2000. Small takes of marine mammals incidental to specified activities; marine seismicreflection data collection in southern California. *Federal Register* 65:16374-16379.

Popper, A.N., Fay, R.R., Platt, C. and Sand, O. 2003. Sound detection mechanisms and capabilities of teleost fishes. In: *Sensory Processing in the Aquatic Environment*. Eds. Collin, S.P. & Marshall, J.N. pp. 3-38. New York and Heidelberg: Springer Verlag.

Popper, A.N. and Carlson, T.J. 1998. Application of sound og other stimuli to control fish behavior. *Transactions of the American Fisheries Society* 127(5): 673-707.

Popper, A. N., and Fay, R. R. 1999. "The auditory periphery in fishes," in *Comparative Hearing: Fish and Amphibians*, edited by R. R. Fay and A. N. Popper ~Springer-Verlag, New York, pp. 43–100.

Richardson, W.J., Greene, Jr., C.R., Malme, и Thomson, D.H. (1995). *Marine Mammals and Noise* (Academic, New York).

Sand, O., Enger, P.S., Karlsen, H.E. and Knudsen, F.R. 2001. Detection of infrasound in fish and behavioral responses to intense infrasound in juvenile salmonids and European silver eels: a minireview. *Am. Fish. Soc. Symp.* 26: 183-193.

Sonny, D., Knudsen, F.R., Enger, P.S., Kvernstuen, T. and Sand, O. 2006. Reactions of cyprinids to infrasound in a lake and at the cooling water inlet of a nuclear power plant. *J. Fish Biol.* 69:735-748.

Smith, M.E., A.S. Kane, and A.N. Popper. 2004a. Acoustical stress and hearing sensitivity in fishes: does the linear threshold shift hypothesis hold water. *Journal of Experimental Biology* 207:3591-3602.

Southall, B.L., A.E. Bowles, W.T. Ellison, J.J. Finneran, R.L. Gentry, C.R. Greene, Jr., D. Kastak, D.R. Ketten, J.H. Miller, P.E. Nachtigall, W.J. Richardson, J.A. Thomas and P. L. Tyack. 2007. Marine mammal noise exposure criteria: Initial scientific recommendations. *Aquatic Mammals*, Vol. 33, Number 4.

Turnpenny, A. W. H. and Nedwell, J. R., 1994. The effects on marine fish, diving mammals and birds of underwater sound generated by seismic surveys. Consultancy Report FCR 089/94, Fawley Aquatic Research Laboratories Ltd., 40 pp.

TGS-NOPEC, http://www.tgsnopec.com/data_library

Vedenev A., Avilov C. 2008, Model prediction of the Monitoring-Safety Zones for the endangered Western Gray Whales feeding area at forthcoming seismic surveys (2008-2009) off Sakhalin island 22 Annual Conference of the European Cetacean Society, Egmond aan Zee, Netherlands.

Vedenev A., Nowacek D. 2009, Development and application of noise exposure criteria for gray whale monitoring off Sakhalin Island, Russia, 23rd Annual Conference of the European Cetacean Society, Istanbul, Turkey

Wardle, C.S., Carter, T.J., Urquhart, G.G., Johnstone, A.D.F., Ziolkowski, A.M., Hampson, G. Mackie, D. 2001. Effects of seismic air guns on marine fish. *Cont. Shelf Res.* 0: 1-23.

Weir, C. R. and S.J. Dolman. 2007. 'Comparative Review of the Regional Marine Mammal Mitigation Guidelines Implemented During Industrial Seismic Surveys, and Guidance Towards a Worldwide Standard', *Journal of International Wildlife Law & Policy*, 10:1, 1 - 27

EMA, 2007 - Environmental Monitoring and Assessment, Editor Wiersma G.B. Volume 134, No 1-3, Springer.

WGWAP, 2009. Отчет о 6-й встрече WGWAP, Апрель 2009, http://cmsdata.iucn.org/downloads/wgwap_6_report_final.pdf

Анализ последствий разведочного бурения на месторождении Ивэн Шоул, Северная территория (Австралия), Job NO SHELL 98/01, Wardrop Consulting, 1998

ЗАКЛЮЧЕНИЕ экспертной комиссии государственной экологической экспертизы материалов «Программа геолого-геофизических работ на акваториях Дальневосточных и Восточно-Арктических морей Российской Федерации на период до 2015 года» г. Москва 1 августа 2005 г.

Непрошин А. 1972, Некоторые физические характеристики звуков Тихоокеанского лосося. *Зоологический Журнал*, 51, 1025-1030

ЛОСОСЬ

Камчатка — один из немногих регионов на планете, почти не тронутый разрушающей деятельностью человека. Вулканы, гейзеры, медведи и пятая часть мировой популяции лосося находятся здесь. Нерестовые реки Камчатки — это глобальный возобновляемый ресурс природного лосося.

Одиннадцать видов диких лососей обитают здесь. Западно-Камчатский шельф, при своих скромных в масштабе страны размерах, обеспечивает около трети всех рыбных ресурсов нашей страны. На фоне стремительно растущих объемов искусственного разведения лососевых в мире, на Камчатке сохраняется природная кладовая настоящей дикой рыбы.



Разработка нефти никогда не происходит без нефтяных разливов

У берегов Камчатки планируется добыча нефти. Предполагаемые ресурсы составляют только 2,2 % общероссийских запасов нефти и всего 0,8 % природного газа. Их освоение поставит под угрозу будущее трети рыбного богатства страны. Добыча будет вестись в чрезвычайно сложных ледовых и сейсмических условиях, на больших глубинах.

Шум буровых установок заставит уйти китов, а нефтеразливы могут стать причиной гибели крабов, лососей и морских птиц.

Камчатка дороже нефти!

Останови рискованные проекты!
Проголосуй за Камчатку на
www.wwf.ru



for a living planet®

www.
wwf
.ru

Фото на обложке: © Michel Roggo / WWF-Canon

Всемирный фонд дикой природы (WWF) – одна из крупнейших независимых международных природоохранных организаций, объединяющая около 5 миллионов постоянных сторонников и работающая более чем в 100 странах.

Миссия WWF – остановить деградацию естественной среды планеты для достижения гармонии человека и природы.

Стратегическими направлениями деятельности WWF являются:

- сохранение биологического разнообразия планеты
- обеспечение устойчивого использования возобновляемых природных ресурсов
- пропаганда действий по сокращению загрязнения окружающей среды и расточительного природопользования.

Всемирный фонд дикой природы (WWF)
109240 Москва
ул. Николаямская, д. 19, стр. 3
Тел: +7 495 727 09 39
Факс: +7 495 727 09 38
russia@wwf.ru

www.wwf.ru

