

УДК 574.5 (265.53)

**ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЙ СЕЙСМО-
РАЗВЕДКИ НА МОРСКИЕ СООБЩЕСТВА
ПРИБРЕЖНЫХ ВОД САХАЛИНА
В ЛАБОРАТОРИИ ГИДРОБИОЛОГИИ
СахНИРО: НАЧАЛЬНЫЙ ЭТАП**

И. А. Атаманова (inga@sakhniro.ru)

**Сахалинский научно-исследовательский институт
рыбного хозяйства и океанографии (Южно-Сахалинск)**

Атаманова, И. А. Исследования воздействий сейсморазведки на морские сообщества прибрежных вод Сахалина в лаборатории гидробиологии СахНИРО: начальный этап [Текст] / И. А. Атаманова // Биология, состояние запасов и условия обитания гидробионтов в Сахалино-Курильском регионе и сопредельных акваториях : Труды Сахалинского научно-исследовательского института рыбного хозяйства и океанографии. – Южно-Сахалинск : СахНИРО, 2012. – Т. 13. – С. 134–142.

Изучение влияния современных геофизических методов исследования на морскую биоту – одно из важных направлений работы лаборатории гидробиологии. Это связано с практической необходимостью оценки антропогенного воздействия данного вида деятельности на морские биоресурсы дальневосточных морей и отсутствием качественных данных о величине влияния сейсмических работ на наиболее уязвимые пассивные планктонные сообщества (зоо- и иктиопланктон). В результате проводимых с 1998 по 2005 г. научно-исследовательских работ были получены данные о группоспецифических морфологических повреждениях планктона, возникающих при работе ПИ, а также зонах воздействия, в пределах которых наблюдается гибель биологических объектов. При значительных объемах геофизических исследований на шельфе дальневосточных морей такие работы являются крайне актуальными.

Фото – 4, библиогр. – 18.

Atamanova, I. A. Studies of seismic exploration impact on sea communities from the coastal Sakhalin waters carried out by the Laboratory of Hydrobiology, SakhNIRO: initial stage [Text] / I. A. Atamanova // Water life biology, resources status and condition of inhabitation in Sakhalin-Kuril region and adjoining water areas : Transactions of the Sakhalin Research Institute of Fisheries and Oceanography. – Yuzhno-Sakhalinsk : SakhNIRO, 2012. – Vol. 13. – P. 134–142.

One of the important research tasks in the Laboratory of Hydrobiology is studying the impact on marine biota when using modern geophysical methods. It appeared both because of the practical need in assessing anthropogenic impact of this activity on marine biological resources of the Far-Eastern seas, and lack of reliable data on damage to the most vulnerable passive planktonic communities (zoo- and ichthyoplankton) caused by the seismic works. During the researches between 1998 and 2005, there have been obtained some data on group-specific morphological injuries of plankton caused by the acting airgun sources, and on impact zones where death of marine organisms was observed. These are rather actual research works because of the vast geophysical studies on shelf of the Far-Eastern seas.

Photo – 4, ref. – 18.

Более десяти лет лаборатория гидробиологии ФГУП «СахНИРО» активно участвует в исследованиях, связанных с реализацией проектов нефтегазового освоения шельфа Сахалина. В первую очередь это относится к исследованию влияния на морскую биоту сейсморазведки, проводимой на акваториях дальневосточных морей. Начало работ по данной тематике приходится на 1998 г., когда по заказу ведущей геофизической компании Сахалина ОАО «Дальморнефтегеофизика» были проведены первые эксперименты (*in situ*) по влиянию одиночных и спаренных пневмоисточников (в дальнейшем – ПИ) на зоопланктон прибрежных вод северо-восточного Сахалина (Воздействие сейсморабот..., 1998). В то время геофизическая разведка на шельфе Сахалина набирала обороты, ее масштабы постоянно росли, и знания о влиянии пневмоисточников на морские организмы становились крайне актуальными. Для Дальнего Востока это были пионерские работы, главная цель которых заключалась в получении данных о радиусах воздействия для различных групп зоопланктона (Саматов, Немчинова, 2000). Исследования были проведены в сентябре 1998 г. с борта сейсмического судна «Атлас» сотрудником СахНИРО И. А. Немчиновой.

Особенностью данных исследований являлось то, что первичную дифференциацию на «живых» и «мертвых» животных, подвергшихся воздействию ПИ, проводили как по внешним морфологическим повреждениям, так и по интенсивности флуоресценции после витального окрашивания объектов. Методика дифференцированного учета живых и мертвых животных, основанная на применении флуоресцентной микроскопии, предоставила определенные преимущества, неоспоримые при выполнении подобных полевых работ, и выявила дополнительно долю животных, погибших в эксперименте, но не имеющих внешних морфологических повреждений (Александров, Аблов, 1991).

В результате проведенных исследований для большинства групп удалось отследить влияние ПИ в локальной зоне, составившей от 1 до 3 м (Саматов, Немчинова, 2000). При одиночном импульсе ПИ наибольший «отход» животных зафиксирован в радиусе 1 м у веслоногих раков *Eurytemora herdmani* – до 27%, наименьший – у сагитт, ветвистоусых раков и икры рыб – до 1%. При множественном воздействии ПИ были зафиксированы многочисленные механические повреждения планктона также на расстоянии 1 м от ПИ (от 2 до 100% для различных групп животных). С удалением садка от сейсмоисточника на 2 и 3 м количество поврежденных особей значительно сокращалось и составило в среднем около 2%. Эксперименты показали, что наиболее чувствительными к действию пневмовзрывов являются веслоногие раки, личинки эвфаузиид, десятиногих раков и медузы. Полученные в 1998 г. результаты использовались СахНИРО, ВНИРО и ТИНРО-Центром при оценках ущерба водным биоресурсам от проведения геофизических работ вплоть до 2004 г.

Необходимо напомнить, что в 1992 г. в СахНИРО были проведены работы по изучению влияния современных сейсмических источников на ихтиофауну, и в частности на воспроизводство лососевых рыб (Отчет о научно-исследовательской..., 1992). В условиях рыбоводного завода Е. В. Тарасюк изучала особенности эмбрионально-личиночного развития личинок кеты после воздействия излучений сейсмического пневмоисточника «Пульс» на производителей. В результате данных работ были выявлены значительные отклонения в развитии экспериментальных эмбрионов по сравнению с контролем. В настоящее время результаты этих экспериментов многие исследователи ставят

под сомнение, так как источник акустических сигналов был удален от объекта на довольно значительное расстояние – 200 м. В настоящее время среди специалистов преобладает точка зрения, что воздействие пневмоисточников на морских животных носит локальный характер и радиус воздействия ограничен практически одним десятком метров.

В 2004 г. в СахНИРО появилась еще одна возможность исследовать воздействие ПИ на морские сообщества – во время проведения транзитной промышленной сейсмосъемки в прибрежных водах восточного Сахалина (Исследование воздействия..., 2005; Немчинова, 2007; Немчинова, Мухаметова, 2007). Программа геофизической съемки предполагала сейсмическое обследование нескольких участков в мелководной зоне Пограничной площади северо-восточного Сахалина и зал. Терпения. Период проведения работ: 5 августа – 16 сентября 2004 г. Руководитель геофизической партии от ОАО «Дальморнефтегеофизика» – В. Н. Рудер. От СахНИРО в работах принимали участие сотрудники лаборатории гидробиологии И. А. Немчинова и О. Н. Мухаметова.

Дислокация исследовательской лаборатории непосредственно на геофизическом судне «Искатель-4» позволила помимо экспериментальных работ с одиночными ПИ провести фоновые наблюдения за изменением состояния планктона на значительной акватории при работе группированного пневмоисточника, состоящего из большого количества пневмопушек (Nemchinova, 2006, 2007) (**фото 1**). Материал (зоопланктон и иктиопланктон) обрабатывался непосредственно на судне после отбора проб.

На протяжении целого месяца гидробиологи собирали материал по нескольким направлениям: исследование фонового состояния зоопланктона до и после проведения акустического сейсмопрофилирования; определение локальных радиусов воздействия буксируемых площадных сейсмоисточников на зоопланктон (в том числе икру, личинок и молодь рыб); определение величины радиусов воздействия в зоне пневмоисточников разного объема. Программа экологических работ была очень насыщена. Специфика геофизических исследований (непрерывный цикл сейсмопрофилирования) требовала от биологов практически круглосуточной напряженной работы.

Среди основных результатов исследований 2004 г. можно назвать следующие: в приповерхностном горизонте во время работы буксируемых пневмоисточников значительно возрастает доля поврежденного планктона; воздействие на гидробионтов происходит под действием комплекса факторов во всем объеме воды – от глубины погружения пневмоисточников до поверхности; воздействие пневмоисточников на зоопланктон выражается как в изменении поведенческих реакций, так и в группоспецифических морфологических повреждениях жизненно важных частей тела, которые ведут к немедленной или так называемой «отложенной» смерти организма (**фото 2**); величина воздействия группированных пневмоисточников на зоопланктон значительно выше, чем описанная ранее в литературе, и составляет в среднем для планктонных беспозвоночных 22%, для икры рыб – 43%, а для личинок рыб – до 100%; радиусы воздействия пневмоисточников различны для разных групп гидробионтов и связаны с морфологией животных. Наибольший радиус воздействия – около 4,5 м, получен для веслоногих и эвфаузиевых раков (11%), а также желтого планктона (22%); смертность икры и личинок рыб в экспериментах с одиночным источником 1,15 дм³ на расстоянии 4,5 м достигала 22–58%, что

значительно превышает контрольные значения и, соответственно, предполагает большие радиусы воздействия, чем исследованные.

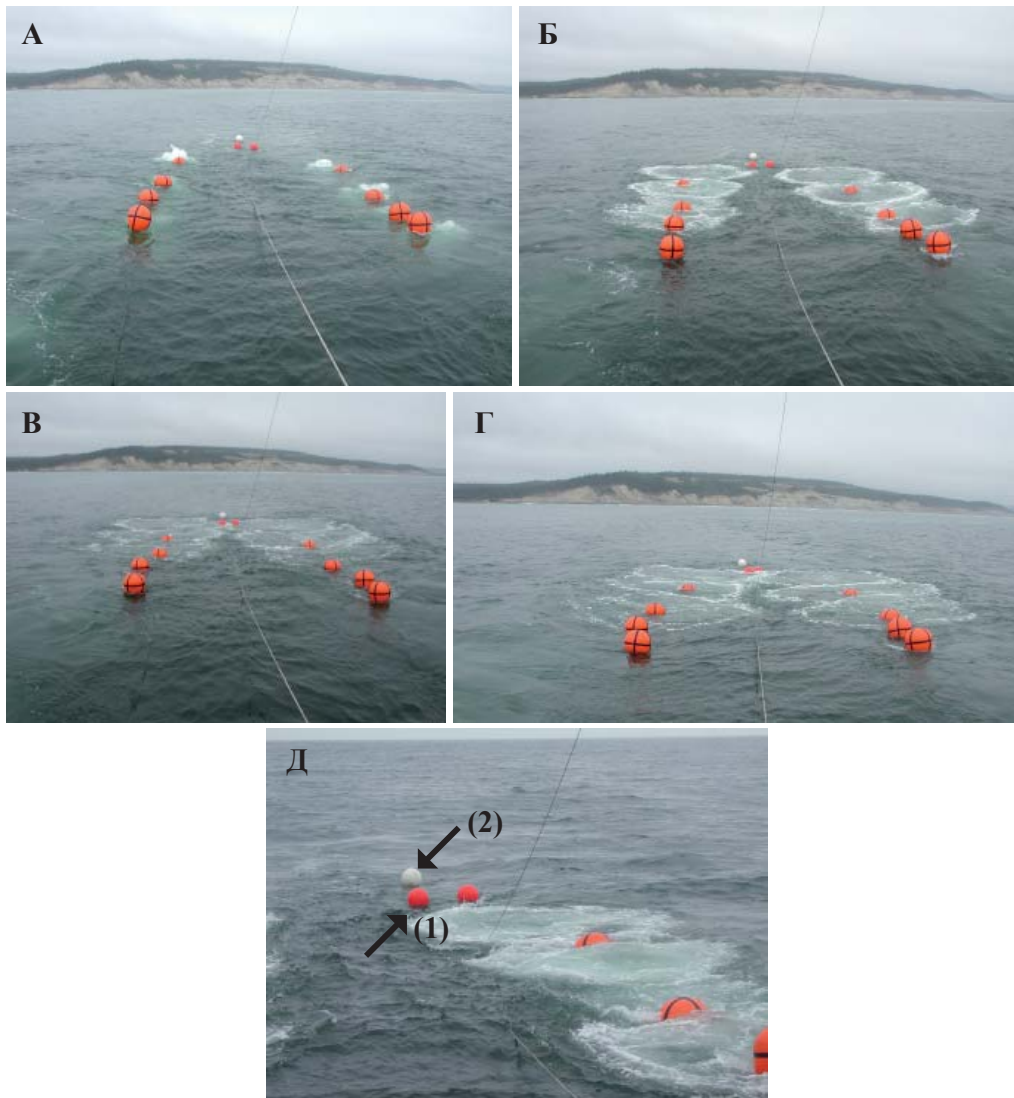


Фото 1. Прохождение планктонной сети через зону возбуждения линий пневмоисточников по стадиям: А – начальная стадия траления после инициации пневмоисточников; Б – стадия образования на поверхности интерференционной зоны и положение планктонной сети; В – стадия размыва и смешения интерференционных зон двух линий ПИ; Г – прохождение планктонной сети через зону возбуждения от ПИ; Д – гидродинамические явления, наблюдаемые на поверхности после инициации одной из двух буксируемых линий пневмоисточников (1) и прохождение через зону воздействия ПИ планктонных сетей Бонго (2)

Photo 1. The planktonic net passing through a stimulation zone of airgun lines by stages: А – an initial stage of trawling after the airgun sources initiation; Б – a stage of formation of the interference zone on the surface and a position of the planktonic net; В – a stage of diffusion and mixing of interference zones of the two lines of airgun sources; Г – the planktonic net passing through a stimulation zone off the airgun sources; Д – hydrodynamic phenomena observed on the surface after the initiation of one of the two towing airgun lines (1) and the planktonic net Bongo passing through a zone of airgun impact (2)

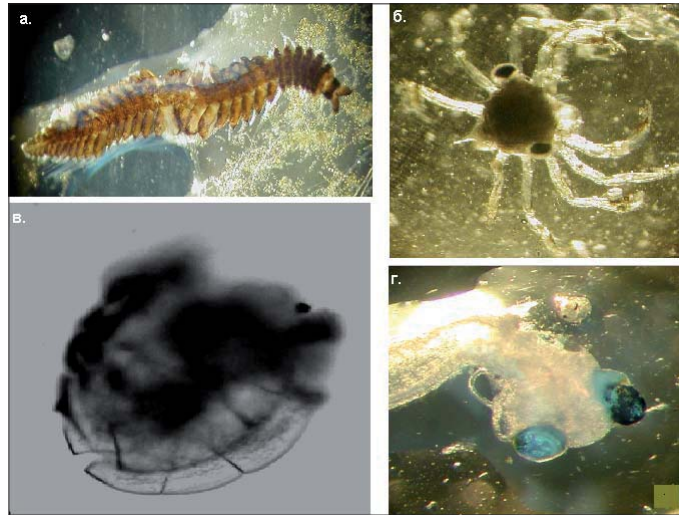


Фото 2. Морфологические повреждения в различных группах планктона при работе сейсмоисточников: а. повреждение метастомия и пароподий полихет; б. Отрыв конечных членков переопод у личинок десятиногих раков; в. повреждение раковины и мягких тканей двустворчатых моллюсков; г. повреждения глаз личинок корюшковых

Photo 2. Morphological injuries in different plankton groups under the work of airguns: a. injuries of metastomium and parapodia of polychaetes; б. avulsion of the end segments of pereopods in larval Decapoda; в. injuries of a shell and soft tissues of Bivalva; г. injuries of eyes of the larval Osmeridae

Все полученные в ходе экспериментов с буксируемыми линиями и одиночным источником 1,15 дм³ значения импакта для зоо- и ихтиопланктона были рекомендованы для использования в расчетах ущерба морским биоресурсам при проведении сеймопрофилирования на морских площадях дальневосточных морей.

В июне–июле 2005 г. работы по исследованию влияния сейсмоисточников были продолжены в открытой лагуне Изменчивая на юге Сахалина. Основной целью данных исследований было выяснение специфических особенностей воздействия ПИ при выполнении транзитных сейсмосьемок в условиях мелководья, то есть при работе сейсмоисточников на минимальных глубинах. Для этого необходимо было решить две задачи – получить величины относительной смертности и радиусов воздействия при работе ПИ на малых глубинах и выявить специфические особенности воздействия ПИ при работе на малых глубинах, в частности дополнительное влияние отражения акустической волны на границе раздела сред, описанное ранее в литературе.

Данный водоем был выбран в силу схожих гидрологических условий и видового состава с прибрежными морскими водами Сахалина, а также удобства базирования лагеря, доставки и работы геофизического оборудования. Значительная изолированность лагуны от открытого моря создавала более стабильные условия для работы научной аппаратуры, требующей соблюдения специфических правил техники безопасности. В работах принимали участие сотрудники ФГУП «СахНИРО» гидробиологи И. А. Немчинова, О. Н. Мухаметова, М. Г. Роготнев, Е. С. Корнеев, гидролог П. В. Полупанов, ихтиолог А. В. Метленков, охранник Р. В. Солдатов и сотрудники ЗАО «Тихоокеанская инжиниринговая компания» (руководитель группы геофизиков ган-механик Б. Ф. Ковалев; техник-геофизик

Д. Кочуков, шкипер Г. Кан) (фото 3). На время полевых работ на берегу озера был организован жилой лагерь и лаборатория (фото 4).



Фото 3. Полевой отряд во время исследований в районе лагуны Изменчивая (июнь–июль 2005 г.). Слева направо: первый ряд – Егор Корнеев, Денис Кочуков, Инга Немчинова, Борис Ковалев, Павел Полупанов; второй ряд – Михаил Роготнев, Геннадий Кан, Ольга Мухаметова

Photo 3. A field team during surveys in Izmenchivaya Lagoon (June–July 2005). Left to right: the first line – Egor Korneev, Denis Kochukov, Inga Nemchinova, Boris Kovalev, Pavel Polupanov; the second line – Mikhail Rogotnev, Gennadiy Kan, Olga Moukhametova



Фото 4. Разбор планктонных проб после проведения экспериментов с одиночным пневмоисточником (лагуна Изменчивая, июнь–июль 2005 г.)

Photo 4. The plankton samples sorting after experiments with a single airgun (Izmenchivaya Lagoon, June–July 2005)

Экспериментальные работы выполняли при участии двух плавсредств – геофизического маломерного катера, оборудованного для зарядки и запуска системы пневмоисточников, и моторной лодки, на которой перевозили в полевую лабораторию гидробиологический материал.

Проведение экспериментов с различным расположением пневмоисточников относительно садков с гидробионтами подтвердило ранее выдвинутое предположение о влиянии комплекса физических процессов на планктонных животных при работе ПИ. К ним, помимо значительного перепада давления, относятся турбулентность и, возможно, кавитация, возникающие после инициации ПИ в зоне газового пульсирующего пузыря. Второе положение о том, что на малых глубинах степень воздействия ПИ возрастает из-за усиления звуковой волны при отражении ее от границы раздела сред, проследить не удалось (Результаты полевых..., 2007).

Конечной целью исследований по изучению воздействия ПИ являлась разработка унифицированной методики расчета потери зоо- и ихтиопланктона при выполнении на морских акваториях сейсмического профилирования с использованием различных по конфигурации пневмоисточников. Этот этап был одним из самых сложных, так как результаты экспериментов не показывали однозначной зависимости между смертностью планктона, расстоянием от ПИ и другими параметрами пневмоисточников. На данном этапе на помощь биологам пришли коллеги, предложившие различные математические подходы к решению данной проблемы. Большую помощь в создании методики оказали: Ю. И. Зуенко (ТИНРО-Центр, г. Владивосток), В. Н. Семенов (ВНИРО, г. Москва), Б. В. Архипов, В. В. Солбаков (ВЦ им. А. А. Дородницына РАН, г. Москва) (Семенов и др., 2004; Зуенко и др., 2008).

В настоящее время результаты многолетних исследований по сейсмическому воздействию на планктон, проведенных в СахНИРО за период 1998–2005 гг., позволяют количественно оценить потери кормовой базы пелагических рыб, а также прямые потери рыбопродукции при выполнении сейсморазведки на морских площадях дальневосточного шельфа.

Необходимо отметить, что на сегодняшний день ожидает своей реализации программа изучения влияния сейсморазведки на промысловые скопления рыб и беспозвоночных. До сих пор среди ученых нет единого мнения по этому вопросу. Одни исследователи считают, что акустическое воздействие при проведении сейсморазведки не ведет к изменениям в пространственном распределении промысловых скоплений (Weinhold, Weaver, 1972; Falk, Lawrence, 1973); другие утверждают, что после проведения масштабных сейсморобот, наоборот, наблюдается пространственное перераспределение и рассеивание промысловых скоплений многих видов рыб и беспозвоночных, в том числе батиметрическое (Dalen, Knutsen, 1987; Lokkeborg, 1991; Skalski et al., 1992; Lokkeborg, Soldal, 1993). Это, в свою очередь, ведет к снижению уловов в районах проведения геофизической разведки.

Несмотря на это, так называемая «официальная» точка зрения сводится к отсутствию воздействия и его кратковременности. Изучение влияния сейсмички на промысловые скопления требует значительных экономических затрат, а также совместной работы ихтиологов, гидробиологов и акустиков.

Предыдущий опыт наших работ показал, что осуществить масштабные исследования на значительной акватории довольно сложно. Наиболее важный

момент – необходимость одновременного проведения масштабной тралово-акустической и геофизической съемок в одном районе с использованием стандартного сейсмического оборудования. Как известно, во время проведения геофизической разведки район работ закрыт для работы других судов, в первую очередь промысловых, в связи с опасностью повреждения дорогостоящего заборного сейсмического оборудования – сейсмических кос, длина которых может достигать 5–7 км. Поэтому очень важен предварительный организационный этап и тщательная подготовка научной программы, согласование ее всеми заинтересованными сторонами.

Сотрудники ФГУП «СахНИРО», участвовавшие в исследованиях 1998–2005 гг., признательны руководству ОАО «Дальморнефтегеофизика» в лице генерального директора Э. Я. Кроппа и ЗАО «Тихоокеанская инженеринговая компания» в лице генерального директора С. В. Рязанова за всемерную помощь в организации и проведении экологических работ на сахалинском шельфе.

ЛИТЕРАТУРА

Александров, Б. Г. Методика дифференцированного учета морских живых и мертвых организмов морского планктона с помощью флуоресцентной микроскопии [Текст] / **Б. Г. Александров, О. А. Аблов** // Экология моря. – 1991. – Вып. 37. – С. 89–93.

Воздействие сейсморабот на зоопланктон шельфовой зоны северо-восточного Сахалина [Текст] : Отчет о НИР / СахНИРО; отв. исполн. И. А. Немчинова. – Ю-Сах., 1998. – (Науч. архив СахНИРО. Арх. № 7962).

Воздействие акустических излучений на зоопланктон. Оценка ущерба промысловым ресурсам от сейсморазведки [Текст] / **Ю. И. Зуенко, И. А. Немчинова, Г. В. Мойсейченко, О. Н. Мухаметова** // Тр. 9-й Всерос. конф. «Прикладные технологии гидроакустики и гидрофизики». – СПб. : Наука, 2008. – С. 683–686.

Исследование воздействия сейсмоисточников на зоо- и ихтиопланктон прибрежных вод северо-восточного Сахалина [Текст] : Отчет о НИР / СахНИРО; отв. исполн. И. А. Немчинова. – Ю-Сах., 2005. – 128 с. – (Науч. архив СахНИРО. Арх. № 9958).

Немчинова, И. А. Сейсморазведка, ее влияние на морскую биоту и исходные данные для оценки воздействия пневмоисточников на зоопланктон [Текст] / И. А. Немчинова // Тр. СахНИРО. – 2007. – Т. 9. – С. 223–239.

Немчинова, И. А. Исследование воздействия буксируемых группированных пневмоисточников, используемых в сейсморазведке, на морской планктон прибрежных вод восточного Сахалина [Текст] / **И. А. Немчинова, О. Н. Мухаметова** // Тр. СахНИРО. – 2007. – Т. 9. – С. 240–256.

Отчет о научно-исследовательской работе по хоздоговорной тематике № 49/91 «Влияние пневмогидравлического источника «Пульс» на производителей и эмбрионольно-личиночное развитие потомства лососей» [Текст] : Отчет о НИР / СахНИРО; отв. исполн. Е. В. Тарасюк. – Ю-Сах., 1992. – 37 с. – (Науч. архив СахНИРО. Арх. № 6345).

Результаты полевых экспериментальных исследований по воздействию пневмоисточников на зоопланктон, проведенных в лагунном озере Изменчивом в 2005 году [Текст] : Материалы по НИР / СахНИРО; отв. исполн. И. А. Немчинова. – Ю-Сах., 2007. – 23 с. – (Науч. архив СахНИРО, инв. № 10429).

Саматов, А. Д. Оценка воздействия пневмоисточников на зоопланктон при проведении сейсморабот в шельфовой зоне восточного Сахалина [Текст] / **А. Д. Саматов, И. А. Немчинова** // Сб. материалов Международного семинара «Охрана водных биоресурсов в условиях интенсивного освоения нефтегазовых месторождений на шельфе и внутренних водных объектах РФ». – М., 2000. – С. 196–208.

Семенов, В.Н. Методика оценки воздействия на планктонные организмы пневмоисточников, применяемых в сейсморазведке [Текст] / **В. Н. Семенов, Б. В. Архипов, В. В. Солбаков** // Нефть и газ арктического шельфа : Материалы Междунар. конф. (Мурманск, 17–19 нояб. 2004 г.). – Мурманск : КНЦ РАН, **2004**. – С. 245–255.

Dalen, J. Scaring Effect in Fish and Harmful Effects on Eggs, Larvae and Fry by Offshore Seismic Exploration [Text] / **J. Dalen, G. M. Knutsen** // Progress in Underwater Acoustics, Ass. Symp. on Underwater Acoustics, Halifax, N. S., 1986. – Plenum Publishing Corp. New York, **1987**. – P. 93–102.

Falk, M. R. Seismic Exploration: its Nature and effect on fish [Text] / **M. R. Falk, M. J. Lawrence** // Technical Report Series No. CEN T-73-9, Resource Management Branch, Central Region (Environment), Canada. – **1973**.

Løkkeborg, S. Effects of a geophysical survey on catching success in longline fishing [Text] / S. Løkkeborg // ICES CM. – **1991**. – B:40.

Løkkeborg, S. The influence of seismic exploration with airguns on cod (*Gadus morhua*) behaviour and catch rates [Text] / **S. Løkkeborg, A. V. Soldal** // ICES Mar. Sci. Symp. – **1993**. – Vol. 196. – P. 62–67.

Nemchinova, I. A. Study of impact of towed airgun arrays, used in seismic exploration, on marine zooplankton from the northeastern Sakhalin shelf coastal waters [Text] / I. A. Nemchinova // The Okhotsk Sea & Cold Ocean Research Association (OSCORA) City of Mombetsu and Hokkaido University, February. – **2006**.

Nemchinova, I. A. Study of impact of towed airgun arrays used in seismic exploration on marine zooplankton from the northeastern Sakhalin shelf coastal waters [Text] / I. A. Nemchinova // Abst. PICES 16th Ann. Meet. Victoria. – **2007**. – P. 13–14.

Skalski, J. R. Effects of Sounds from a Geophysical Survey Device on Catch-Per-Unit-Effort in a Hook-and-Line Fishery for Rockfish (*Sebastes* spp.) [Text] / **J. R. Skalski, W. H. Pearson, C. I. Malme** // Can. J. Fish. Aqu. Sci. – **1992**. – No. 49. – P. 1357–1365.

Weinhold, R. J. Seismic airguns effect on immature coho salmon [Text] / **R. J. Weinhold, R. R. Weaver** // Contribution to the 42nd annual meeting of the Society of Exploration Geophysicists, Anaheim, California. – **1972**.