

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ БУКСИРУЕМЫХ ГРУППИРОВАННЫХ ПНЕВМОИСТОЧНИКОВ, ИСПОЛЪЗУЕМЫХ В СЕЙСМОРАЗВЕДКЕ, НА МОРСКОЙ ПЛАНКТОН ПРИБРЕЖНЫХ ВОД ВОСТОЧНОГО САХАЛИНА**

**И. А. Немчинова, О. Н. Мухаметова**

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

### **ВВЕДЕНИЕ**

В последние годы разведка полезных ископаемых на континентальном шельфе Сахалина приобрела широкие масштабы, что, несомненно, сказывается на жизнедеятельности различных гидробионтов, функционировании морских экосистем и приводит к необходимости тщательного изучения и оценки такого воздействия.

Морская сейсморазведка основана на генерировании сейсмических волн и их регистрации. Для получения эхосигналов в земной коре используются источники звука с высокой энергией. В настоящее время наиболее часто используются так называемые невзрывные источники – пневмопушки, представляющие собой металлические камеры объемом от 0,5 до 5,0 л, в которые под давлением до 180 атм. закачивается сжатый воздух. Сейсмические волны инициируются путем резкого выхлопа сжатого воздуха из этих камер. При разработке пневмоисточников (ПИ) обязательным условием были безопасность и минимальное повреждающее действие на морскую фауну (Протасов и др., 1982; Векилов, Полонский, 2000).

Тем не менее, при инициации ПИ наблюдается несколько физических процессов, оказывающих негативное воздействие на гидробионтов: резкие перепады давления, происходящие в результате пульсации воздушного пузыря; кавитация (гидродинамическая и акустическая), возникающая при резком понижении давления на границе раздела сред (зоопланктон в данном случае сравним по размерам с размерами кавитационных зародышей); разнонаправленные турбулентные потоки и гидродинамические удары, возникающие при пульсации воздушного пузыря и движении его к поверхности. Все эти явления становятся причиной различных механических повреждений, разрывов, отрыва глаз, придатков тела и деформации покровов и ведут в конечном итоге к гибели организма (Влияние морских..., 1992; Муравейко и др., 1994; Павлов и др., 1999).

Проведенные ранее эксперименты показали, что животные, имеющие твердый панцирь (крупные нектобентические и бентическое ракообразные, моллюски и др.), и активно плавающие животные мало подвержены воздействию звуковых волн от пневмопушек. Напротив, планктонные организмы (ихтио-, зоо- и фитопланктон), которые пассивно плавают (парят) в толще воды или имеют небольшую скорость передвижения, оказываются в зоне непосредственного влияния ПИ (Методические рекомендации..., 1998; Саматов, Немчинова, 2000).

По этой причине в своих исследованиях мы уделили внимание массовым группам зоопланктона, а также икре и личинкам рыб.

Научные исследования предусматривали изучение естественного (фонового) состояния планктонного сообщества и эффекта воздействия буксируемых группированных пневмоисточников.

Икра и личинки рыб нами рассмотрены отдельно от остального зоопланктона в связи с тем, что методики расчета ущерба для данных групп различаются. Если потери зоопланктона мы рассчитываем как потери кормовой базы планктоноядных рыб через кормовые коэффициенты, то гибель икры и личинок рыб – как прямые потери рыбопродукции (Временная методика..., 1990).

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКИ

Научно-исследовательские работы проведены в два этапа на судне-катамаране «Искатель-4». На первом этапе были отобраны фоновые пробы планктона без предварительного воздействия пневмоисточников на планктон (Исследование воздействия..., 2005). В дальнейшем они являлись контролем к экспериментальным пробам. Благодаря конструкции катамарана сети находились между двумя кильватерными струями, что исключало дополнительное травмирование животных. Съемку производили в светлое время суток на 12 станциях, расположенных равномерно по всему полигону над глубинами 7–30 м (рис. 1).

Сбор планктона осуществляли горизонтальным ловом при помощи системы планктонных сетей «Бонго» с площадью входного отверстия каждой сети 0,29 м<sup>2</sup>, длиной фильтрующего сетевого полотна 2,25 м, диаметром ячеей сетевого конуса для макропланктона 390 мк, для мезозоопланктона – 160 мк.

Траления проводили в подповерхностном горизонте (глубина погружения 1–1,5 м) при скорости судна от 1,6 до 3 узлов в течение 9–13 мин. Для предотвращения нанесения дополнительных повреждений гидробионтам после подъема сети не промывали струей воды.

Второй этап исследований (экспериментальный) включал сбор проб планктона во время работы линий пневмоисточников в конфигурации, подготовленной для промышленной сейсмосъемки (рис. 2). Данный этап был проведен через четыре дня на станциях с прежними координатами.

Отбор проб зоопланктона при работе буксируемых линий ПИ проводили аналогично фоновым исследованиям. Сеть опускали точно по центру кормы судна между линиями ПИ и заводили на расстояние примерно 2–3 м за последние пневмоисточники (см. рис. 2). Таким образом, сеть находилась на одинаковом удалении от линий ПИ и позади них. Два поплавка, прикрепленные к металлическим обручам сетей «Бонго», поддерживали их в подповерхностном горизонте.

«Сейсмообстрел» производился одновременно двумя буксируемыми линиями, состоявшими из 12 пневмоисточников, из них спаренных источников – восемь.

Согласно конфигурации, источники располагались в линию с увеличением мощности от первых к последним с общим объемом газовых камер 12 дм<sup>3</sup> (см. рис. 2). Расстояние между линиями пневмоисточников поддерживали постоянным – около 6–7 м. Глубина погружения линий составляла 4,6 м.

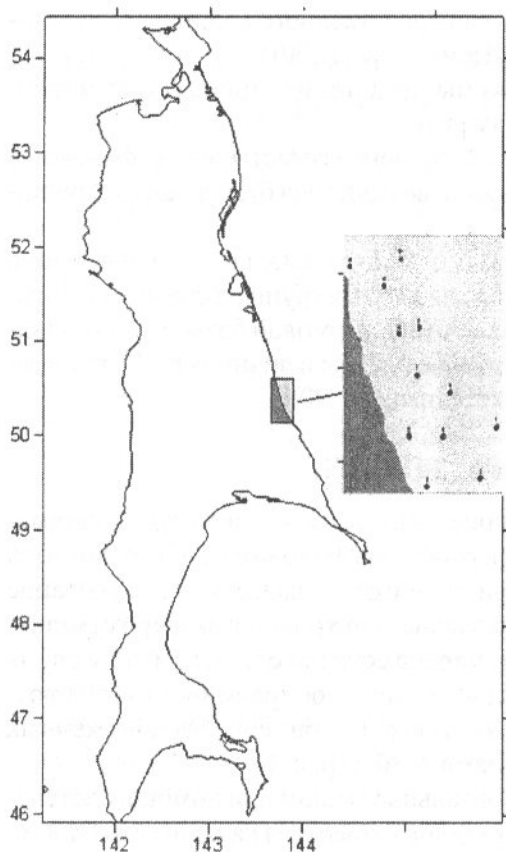


Рис. 1. Схема района работ в прибрежных водах восточного Сахалина в августе 2004 г.

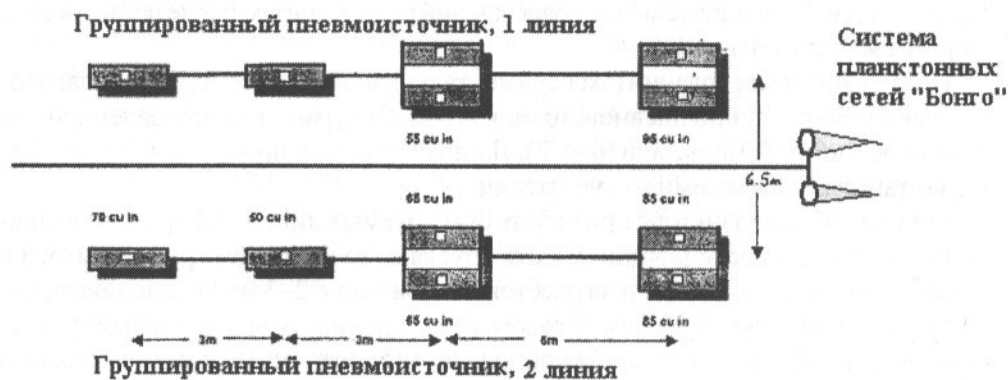


Рис. 2. Схема расположения планктонных сетей «Бонго» относительно буксируемого группированного пневмоисточника, состоящего из двух линий

При такой схеме проведения эксперимента была возможность:

- учесть суммарное воздействие группированных ПИ соседних линий;
- улавливать планктон, на который воздействовал весь комплекс негативно влияющих на гидробионтов факторов, возникающих при работе ПИ: давление фронта волны, резкие перепады давления при пульсации воздушного пузыря, гидродинамическая кавитация и турбулентность на границе раздела сред «вода–воздух»;
- наблюдать за движением сетей относительно линий ПИ и соблюдением безопасного расстояния от сетей до линий в целях предотвращения повреждения дорогостоящего оборудования.

Так как вычленировать характер воздействия на живые организмы отдельных физических факторов практически невозможно, задачей исследований являлось определение эффекта суммарного влияния работающих группированных ПИ.

При спуске и полном расправлении сетей производили первую инициацию пневмоисточников. Каждый последующий «взрыв» производили через 23 сек. Траления продолжали в течение 8–9 мин. при скорости судна не более 2,5 узлов. За это время пневмоисточники срабатывали в среднем 26–28 раз. Таким образом, при разовом выстреле пневмоисточников в зоне сложения импульсов пневмоисточников (интерференции), наблюдаемой на поверхности воды в виде вскипания воздушных пузырей, сети находились в течение 13–17 сек., проходя за это время примерно 20–30 м. За все время траления сети находились в зоне воздействия обстрела около 89% всего пройденного пути, что учитывалось в дальнейших расчетах.

После взятия каждой пробы планктон просматривали на активность организмов, наличие осадка, характер повреждений гидробионтов. В дальнейшем обработка проб зоопланктона, икры и личинок рыб различались.

Подробная камеральная обработка проб зоопланктона была произведена по стандартным гидробиологическим методикам (Богоров, 1947; Инструкция по сбору..., 1974; Инструкция по количественной..., 1982), и в дополнение проведено разделение всего пойманного зоопланктона на три категории, введенные для определения количества экземпляров, пострадавших от воздействия ПИ: 1-я категория – неповрежденные недеформированные животные; 2-я категория – так называемый «морской снег», мертвые организмы, погибшие по естественным причинам, но еще находящиеся в пелагиали (экзувии, полуразложившиеся трупы); 3-я категория – животные с поврежденными частями тела и деформированные (свежие повреждения).

Анализ проб иктиопланктона был проведен следующим образом. Из массы планктона аккуратно пипеткой отбирались икра и личинки и просматривались на предмет повреждений. У живых эмбрионов в икре на III–IV стадиях производился подсчет количества сердцебиений в минуту, отмечались эмбрионы и личинки с аритмией. Появление аритмии у эмбрионов и личинок является достоверным показателем нарушения сердечной деятельности, что позволяет использовать его в качестве тест-реакции иктиопланктона на воздействие пневмоисточников.

Для статистической обработки в каждом из вариантов опытов и для каждого из расстояний, отделяющих садок от пневмоисточника, икра на III–IV стадии (с достаточно сформированными эмбрионами) и личинки разделялась на три–четыре группы: с равномерным сердцебиением; с аритмией; мертвые (у которых сердцебиения отсутствовали полностью или прекращались в период наблюдений). Мертвые и с аритмией эмбрионы и личинки объединялись в группу поврежденных. Для личинок в эту же группу были включены живые личинки с равномерными сердце-

биениями, но имеющие несовместимые с нормальной жизнедеятельностью повреждения – в основном переломы в хвостовой части тела. Подсчитывалась относительная численность эмбрионов каждой группы в каждом повторе. Затем определялась средняя относительная численность каждой группы для определенного расстояния – 1,5; 2,5; 3,5; 4,5 м, а также для контрольной пробы.

По каждой выделенной категории зоопланктона и для четырех групп ихтиопланктона проводилось сравнение с такими же группами в контрольных пробах при помощи t-критерия, показывающего вероятность принадлежности опытной и контрольной пробы к одной генеральной совокупности (критерий Стьюдента).

Для вычленения доли повреждений, полученных непосредственно от пневмоисточников, и исключения повреждений, связанных с процессом лова, нами введена поправка, которая учитывает смертность в контроле от воздействия орудий лова и определяется следующим путем (Методические рекомендации..., 1998):

$$\frac{D_{\text{оп.}} - D_{\text{контр.}}}{100 - D_{\text{контр.}}} \times 100,$$

где  $D_{\text{оп.}}$  – доля погибших животных в опыте с буксируемыми ПИ в процентах;  $D_{\text{контр.}}$  – доля погибших животных в контроле в фоновой съемке в процентах.

В качестве общей величины потери зоопланктона от работы ПИ рассчитывали средневзвешенное значение, полученное с учетом относительной биомассы каждой группы зоопланктона.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Зоопланктон.** Во время проведения исследований в прибрежных водах восточного Сахалина сообщество зоопланктона было представлено 52 видами морских планктонных беспозвоночных, в том числе 10-ю формами меропланктона и неполовозрелыми особями нектобентических беспозвоночных. В небольшом количестве в уловах планктонной сети присутствовали крупные половозрелые бентические виды, совершающие непродолжительные вертикальные кормовые миграции в толщу воды, – гаммариды и кумовые раки.

По видовому разнообразию выделяется группа веслоногих раков (Copepoda) – 22 вида с учетом неполовозрелых копеподитных и науплиальных стадий четырех подотрядов Calanoida, Cyclopoida, Harpacticoida, Monstrilloida.

На исследуемой площади среди копепод преобладали виды прибрежного комплекса, приспособленные к довольно нестабильным условиям среды обитания, в первую очередь к приливно-отливным явлениям, резким изменениям температуры и солености. Наиболее массовыми были копеподы мелкого и среднего размера родов *Acartia*, *Pseudocalanus*, *Eurytemora*, *Tortanus*, *Centropages*.

Наряду с неритическими в небольшом количестве в уловах присутствовали интерзональные и мезопелагические виды, характерные для открытых вод Охотского моря. Они представлены в большей степени неполовозрелыми стадиями, которые часто встречаются в верхних горизонтах пелагиали в прибрежных и шельфовых водах: *Neocalanus plumchrus*, *Metridia okhotensis*, *Metridia* juv., *Eucalanus bungii*.

Другие 14 групп представлены одним–тремя видами, характерными для прибрежных вод северо-восточного Сахалина.

Среди пелагических личинок промысловых животных можно выделить личинок иглокожих, а также megalopa и zoea десятиногих раков: краба стригуна-опилио



(*Chionocetes opilio*), пятиугольного волосатого краба (*Telmesus cheiragonus*) и краба-паука (*Hyas coarctatus*).

В августе 2004 г., по сравнению с 2000 и 2002 гг., в структуре зоопланктонного сообщества отмечены особенности, касающиеся доминирования отдельных групп (Гидробиологическая характеристика..., 2001; Экологическая характеристика..., 2003). Это выражается, например, в значительном увеличении количества ветвистоусых рачков (Cladocera) родов *Evadne* и *Podon* (табл. 1). Вероятнее всего, это связано со спецификой облова планктона в 2004 г., который был проведен в подповерхностном слое, где наблюдаются основные скопления кладоцер (Мануйлова, 1964).

Таблица 1

Соотношение биомассы основных групп зоопланктона в прибрежной мелководной зоне Пограничной площади северо-восточного Сахалина в августе 2004 г.

Таксоны	Биомасса	
	мг/м <sup>3</sup>	%
Copepoda	339,81	67,57
Cladocera	117,18	23,30
Coelenterata	24,80	4,93
Mollusca (larvae)	7,15	1,42
Polychaeta	7,25	1,44
Euphausiacea	2,87	0,57
Decapoda (larvae)	1,72	0,34
Cirripedia (larvae)	0,62	0,12
Chaetognatha	0,14	0,03
Pteropoda	0,02	0,004
Gammaridae	0,00	0,001
Микропланктон	0,00	0,001
Cumacea	0,00	0,001
Varia	1,31	0,27
<b>Итого</b>	<b>502,87</b>	<b>100</b>

Также в 2004 г. нами не обнаружено значительных скоплений личинок и молоди эвфаузиевых рачков, которые в это время обычно создают нагульные скопления в прибрежных и шельфовых водах восточного Сахалина. В небольших количествах молодь *Thysanoessa raschii* отмечалась более чем в 50% планктонных ловов, но в целом доля эвфаузиид не превысила 0,6% от общей биомассы (см. табл. 1).

Наиболее плотные концентрации образовывали копеподы родов *Acartia* и *Pseudocalanus*, кладоцеры *Evadne nordmani*. Средняя биомасса зоопланктона составила 502,87 мг/м<sup>3</sup> (см. табл. 1), что значительно ниже значений 2000 и 2002 гг., когда значения биомассы достигали 1289,8 и 2624,74 мг/м<sup>3</sup>.

Согласно данным фоновых исследований, было выделено 12 массовых групп планктеров для наблюдения за изменением общего состояния и определения эффекта от воздействия буксируемых пневмоисточников (табл. 2).

Таблица 2

**Относительные показатели численности живых неповрежденных планктеров в фоновых исследованиях и при работе буксируемых пневмоисточников в прибрежных водах восточного Сахалина в августе 2004 г.**

Группы	Фоновые исследования	Во время работы ПИ	Относительная доля поврежденного зоопланктона*
	относительная доля живых экз., %		
Микропланктон (Dinoflagellata)	100,00	100,00	0
Coelenterata/Ctenophora	86,31	38,40	62,37
Cladocera	95,00	93,74	1,49
Polychaeta	100,00	72,50	30,90
Copepoda	93,25	70,13	26,77**
Euphausiacea	98,56	95,70	3,26
Amphipoda	100,00	100,00	0
Decapoda (larvae)	100,00	93,59	7,20
Cirripedia (larvae)	100,00	98,98	1,14
Pteropoda	100,00	89,13	12,21
Mollusca (larvae)	97,75	91,55	7,12
Chaetognatha	100,00	100,00	0

\* Рассчитаны с учетом прохождения сетей в зоне действия линий пневмоисточников и поправки на смертность животных в фоновой съемке от орудий лова (см. раздел «Материал и методика»).

\*\* Средневзвешенная, с учетом наиболее массовых родов копепод (см. табл. 3).

При наблюдении за состоянием зоопланктона непосредственно после взятия фоновых проб (контроль) отмечено, что в течение 30 минут сохранялась высокая подвижность практически всех групп планктеров, в частности личинок усонюгих раков, крупных копепод, личинок полихет, щетинкочелюстных и личинок десятиногих раков. Несмотря на наличие в прибрежных водах фактора, повышающего смертность планктона (прибойного течения), доля живого зоопланктона в фоновых пробах сохраняется на высоком уровне (см. табл. 1). Для гребневиков и медуз отмечена самая низкая доля неповрежденных животных в фоновых пробах – 86%, для нескольких массовых групп (гипериид, щетинкочелюстных, крылоногих моллюсков, личинок усонюгих раков, декапод и полихет), наоборот, доля неповрежденных животных составила 100%. С учетом относительной биомассы каждой таксономической группы доля погибших организмов в фоновых пробах составила около 6,7%, что хорошо согласуется с данными ранее проведенных исследований (Саматов, Немчинова, 2000).

У амфипод и щетинкочелюстных сохранялась высокая пищевая и двигательная активность, причем из-за большой концентрации мелких животных кишечника последних были заполнены свежепроглоченной пищей.

При наблюдении за состоянием планктона, выловленного на втором этапе исследований во время работы ПИ, картина была иной. Осадок из мертвых и поврежденных животных отсутствовал, как и в контроле, но некоторые группы планктеров находились в состоянии заторможенности или оглушенности, двигательная активность была снижена. Наиболее заметные визуальные изменения отмечены

для гребневиков, копепод, птеропод и пелагических полихет. Ниже для каждой группы зоопланктона подробно приведены специфические или характерные повреждения, отмеченные на экспериментальном этапе работ, которые несовместимы с жизнедеятельностью гидробионтов. Для нескольких групп личинок (усоногих раков, амфипод и щетинкочелюстных), у которых, как и в фоновых пробах, сохранялась высокая активность, изменений в поведении и морфологических повреждений в экспериментальных пробах не выявлено.

### **Coelenterata и Ctenophora**

В фоновых пробах, собранных без воздействия пневмоисточников (ПИ), мелкие и средние формы от 0,3 до 10 мм (*Obelia longissima*, *Aglantha digitale*) не имели внешних морфологических повреждений и деформаций. Они активно плавали и реагировали на механические раздражения. Иная ситуация наблюдалась для гребневиков (*Ctenophora gen. sp.*) и крупных медуз *Melicertum campanula*. Все особи гребневиков крупнее 10 мм были полностью разрушены. Наблюдение за гребневиками в течение 1 часа показало, что отдельные части тела гребневиков, сохранившие гребные пластинки с ресничками, хаотично и непрерывно двигаются и крутятся, независимо от величины и наличия аборального органа.

В экспериментальной съемке с ПИ у неповрежденных экземпляров (крупные и мелкие медузы) сохранялась двигательная активность, но в полости наблюдалось большое количество газовых пузырьков, которые со временем исчезали. У отдельных экземпляров *Aglantha digitale* наблюдали разрыв паруса, радиальных каналов и вывернутые наружу глотки. Крупные гребневики в целом виде, как и в фоне, не обнаружены ни в одной пробе. Количество поврежденных экземпляров в целом для группы значительно увеличилось – до 62,37% (см. табл. 2).

### **Cladocera**

В фоновых и экспериментальных съемках значительных морфологических повреждений у кладоцер не отмечено. У массовых видов данной группы *Evdadne nordmanni* и *Podon leuckartii* сохранялась высокая двигательная активность, и лишь в 5–7% отмечены деформации выводковой камеры в спинной части. В целом, доля повреждений не превышала 1,5% (см. табл. 2).

В ходе наблюдений за состоянием кладоцер, собранных во время съемки с работающими пневмоисточниками, был отмечен факт концентрации в поверхностной пленке конгломератов слипшихся друг с другом кладоцер. Большинство из них никаких признаков жизни не подавали и на механические раздражения не реагировали. Они были учтены в дальнейших расчетах в категории «живые» из-за неопределенности повреждений и состояния. Но мы предполагаем, что тем самым несколько занижаем реальную гибель.

### **Polychaeta**

В уловах планктонных сетей отмечены взрослые пелагические полихеты *Autolytus sp.*, *Polychaeta gen. sp.*, а также личинки (трохофоры) сидячих полихет. Во время проведения фоновой съемки в уловах не встречено поврежденных экземпляров. Во время проведения съемки с ПИ в пробах общее количество полихет возросло, и отмечались поврежденные экземпляры. Основные повреждения у взрослых полихет – разрывы сегментов тела и параподий, у личинок – разрыв оболочки. Пойманные самки с прикрепленной икрой не имели повреждений. Общая доля поврежденных экземпляров – 30,9% (см. табл. 2).

### **Copepoda**

В фоновых пробах крупноразмерные копеподы (*Neocalanus*, *Eucalanus*, *Metridia*, *Epilabidocera*) не имели повреждений. Они сохраняли высокую двига-



тельную и пищевую активность. У двух мелкоразмерных видов *Eurytemora* и *Oncaea* повреждений также не обнаружено. Но у большинства массовых видов копепод мелкого и среднего размера (*Pseudocalanus*, *Acartia*, *Oithona*) наблюдался общий спад двигательной активности, единичные разрывы и деформации тельсона, связанные с механическим воздействием орудий лова.

В ходе наблюдений за состоянием копепод в пробах, отобранных при работе пневмоисточников, было отмечено снижение у большинства рачков двигательной активности, особенно у мелких и среднеразмерных половозрелых форм (*Pseudocalanus*, *Oithona*, *Acartia*), а так же личиночных и младших копеподитных стадий. Доля особей с поврежденным тельсоном увеличилась, появились копеподы с оторванными антеннами и абдоменами, у единичных экземпляров наблюдалась деформация тельсона, сопровождающаяся отслоением мягких тканей от внешней оболочки. В среднем, доля специфических повреждений для копепод составила около 26,77% (см. табл. 2; табл. 3).

Таблица 3

**Относительная биомасса и гибель массовых родов копепод при работе буксируемых пневмоисточников в прибрежных водах восточного Сахалина в августе 2004 г.**

Род	Относительная биомасса, %	Потери при работе сейсмоисточников, %
<i>Neocalanus</i>	0,3	3,69
<i>Eucalanus</i>	0,1	6,61
<i>Pseudocalanus</i>	44,9	37,51
<i>Eurytemora</i>	3,8	7,49
<i>Metridia</i>	0,1	1,9
<i>Acartia</i>	42,5	18,06
<i>Centropages</i>	0,6	28,09
<i>Epilabidocera</i>	0,7	2,88
<i>Oithona</i>	2	27,92
<i>Oncaea</i>	0,01	0
Copepoda, juv. (nauplius, copepodites)	0,5	0,5
Copepoda, итого:	95,51	26,77

### **Euphausiacea**

В фоновых исследованиях доля живых неповрежденных эвфаузиид (стадии nauplius, calyptopis, furcilia) в пробах была достаточно высока. Но между стадиями наблюдались некоторые различия по устойчивости к воздействию ПИ. Практически все калиптописы сохраняли высокую степень подвижности и не имели морфологических повреждений. Наиболее поврежденными в результате облова оказались науплиусы и фурцилии. В среднем, доля повреждений эвфаузиид в фоновых исследованиях не превысила 1,44% (см. табл. 2).

Во время проведения съемки с ПИ специфических повреждений у эвфаузиид также не отмечено. Общая активность личинок эвфаузиид была несколько сниже-

на, при механическом раздражении фурцилии и калиптописы эвфаузиид начинали хаотично двигаться. Со временем они погибали, но по какой причине, в условиях наблюдений установить трудно. Возможно, это связано с дефицитом кислорода. Единично, на стадии фурцилии, отмечены повреждения в области соединения головогрудного и брюшного отделов. Доля поврежденных эвфаузиид составила около 3,3% (см. табл. 2).

### **Amphipoda**

В данной группе нами учитывались только пелагические виды, относящиеся к подотряду Nereidiidae. При визуальном осмотре проб после воздействия ПИ у амфипод морфологических повреждений не обнаружено, двигательная и пищевая активность сохранялась на высоком уровне.

### **Decapoda**

Личинки десятиногих раков в уловах были представлены стадиями megalopa и zoea. В фоновых исследованиях личинки декапод были встречены в небольшом количестве, все личинки без повреждений и активны.

В исследованиях с буксируемыми ПИ среди личинок стадии мегалопа отмечены повреждения – оторванные переоподы и продавленные карапаксы. Общая доля поврежденных личинок декапод составила 7,2% (см. табл. 2).

### **Cirripedia**

Как уже было отмечено выше, личинки усонюгих раков, весьма многочисленные в пробах, сохраняли двигательную активность в течение длительного времени наблюдения.

Поврежденные экземпляры встречены в небольшом количестве в пробах, взятых в съемке с буксируемыми пневмоисточниками, – 1,14% (см. табл. 2). Основным повреждением, отмеченным для личинок усонюгих раков, были отломанные боковые отростки и выдавленные наружу внутренние органы.

### **Pteropoda**

Крылоногие моллюски в уловах представлены двумя массовыми видами, по морфологическим признакам отличными друг от друга, что проявляется и в различной степени воздействия пневмоисточников.

*Clione limacine* – вид с плотным, хорошо оформленным телом и небольшими крыльями, раковина редуцирована. Второй вид *Limacine helicine*, наоборот, имеет спиральную раковину, в которую полностью помещается нежное тело моллюска с крупными крыльями.

У *Clione* специфических повреждений не обнаружено, как в фоновых пробах, так и в пробах, собранных при букировке ПИ.

Лимадины *Limacine helicine* в пробах, собранных в съемках с буксируемыми ПИ, имели повреждения, безусловно, ведущие к гибели, – наряду с отломанными кусочками краев раковин у многих моллюсков тела находились снаружи (выдавлены), а крылья имели рваные края. Доля таких повреждений составила 12,2% (см. табл. 2).

### **Mollusca**

В данной группе представлены пелагические личинки брюхоногих и двустворчатых моллюсков. Основные повреждения, отмеченные в обеих сериях исследований, сводились к повреждениям краев раковин (трещины, обломы) и выдавливанню тела моллюска наружу, причем в большей степени этому подвержены личинки двустворчатых моллюсков.

В исследованиях с использованием ПИ количество поврежденных личинок моллюсков составило 7,12%.

## Chaetognatha

У щетинкочелюстных в исследованиях с буксируемыми ПИ повреждений не выявлено.

**Ихтиопланктон.** Состав ихтиопланктона во время проведения фоновой съемки и съемки с буксируемыми пневмоисточниками несколько различался. В период фоновых исследований в уловах была отмечена икра пяти видов рыб и личинки четырех видов рыб (табл. 4). Основу ихтиопланктона составляла икра минтая *Theragra chalcogramma*, на долю которой приходилось 96,3% от общей численности ихтиопланктона. Икра минтая встречалась во всех пробах.

Из камбаловых наибольшей численности достигала икра дальневосточной длинной камбалы *Glyptocephalus stelleri* с относительной численностью 2,0% и частотой встречаемости 66,7%. Относительная численность икры сахалинской лиманды *Limanda sakhalinensis* не превышала 0,2%, а частота встречаемости – 25%, желтоперой камбалы *Limanda aspera* – 0,1 и 16,7%, хоботной камбалы *Limanda proboscidea* – 0,04 и 8,3% соответственно.

Численность личинок в районе находилась на низком уровне. В ихтиопланктоне преобладали личинки морской малоротой корюшки *Hypomesus japonicus* (0,7% от общей численности ихтиопланктона). По количеству встречавшихся в планктоне видов доминировало семейство рогатковых Cottidae, представленное личинками трех видов: промежуточного шлемоносца *Gymnicanthus intermedius*, бычка-бабочки *Melletes papilio* и многоиглого керчака *Myoxocephalus polyacanthocephalus*. Относительная численность личинок рогатковых изменялась от 0,1 до 0,5%.

Количественные показатели в распределении икры в районе значительно варьировались в пространстве и во времени. Так, относительная численность икры минтая к моменту проведения второго этапа исследований (с буксируемыми ПИ) снизилась до 58,8% при сохранившейся 100%-ной частоте встречаемости. При этом произошло увеличение доли икры некоторых видов камбал: желтоперой – до 18,6%, дальневосточной длинной – до 17,1%. Частота встречаемости икры этих видов увеличилась до 90,9 и 63,6% соответственно. Относительная численность икры сахалинской лиманды и хоботной камбалы по-прежнему оставалась низкой.

Видовой состав личинок рыб, по сравнению с фоновой съемкой, увеличился более чем в два раза. В уловах встречались личинки 10 видов рыб. Наибольшей относительной численности достигали личинки дальневосточной мойвы *Mallotus villosus socialis* и морской малоротой корюшки *Hypomesus japonicus* – 2,2 и 1,3% соответственно. Высокая относительная численность личинок мойвы формировалась за счет их плотных скоплений на отдельных участках, достигавших 1,74 экз./м<sup>3</sup>. При этом частота встречаемости личинок в уловах не превышала 9,1%. Личинки корюшки, напротив, распределялись достаточно равномерно, имея меньшую плотность – до 0,46 экз./м<sup>3</sup>. Их высокая относительная численность определялась высокой частотой встречаемости – 45,5%. Еще более высокую частоту встречаемости имели личинки минтая – 54,6%, при этом их абсолютная численность не превышала 0,07 экз./м<sup>3</sup>, а относительная – 0,7%. Высокая частота встречаемости была характерна также для личинок бычка-бабочки и длинной камбалы – 27,3 и 18,2% соответственно. Частота встречаемости личинок других видов не превышала 9,1%.

Таблица 4

Качественный и количественный состав иктиопланктона в прибрежных водах восточного Сахалина в августе 2004 г.

№ п/п.	Видовой состав	Численность, экз./м <sup>3</sup>
		<u>Предельная</u> Средняя
Икра		
I	Семейство Gadidae	
1	<i>Theragra chalcogramma</i>	<u>0,54–8,28</u> 3,36
II	Семейство Pleuronectidae	
2	<i>Glyptocephalus stelleri</i>	<u>0,020–4,60</u> 0,98
3	<i>Limanda aspera</i>	<u>0,40–4,40</u> 1,08
4	<i>Limanda proboscidea</i>	<u>До 0,02</u> 0,002
5	<i>Limanda sakhalinensis</i>	<u>0,06–0,20</u> 0,02
личинки		
I	Семейство Clupeidae	
1	<i>Clupea pallasii</i>	<u>До 0,04</u> 0,004
II	Семейство Osmeridae	
2	<i>Hypomesus japonicus</i>	<u>0,02–0,46</u> 0,08
3	<i>Mallotus villosus socialis</i>	<u>До 1,74</u> 0,16
III	Семейство Gadidae	
4	<i>Theragra chalcogramma</i>	<u>0,04–0,14</u> 0,04
IV	Семейство Cottidae	
5	<i>Gymnocanthus intermedius</i>	<u>0,04–0,06</u> 0,02
6	<i>Melletes papilio</i>	<u>0,02–0,04</u> 0,008
7	<i>Myoxocephalus polyacanthocephalus</i>	<u>До 0,04</u> 0,002
V	Семейство Liparidae	
8	<i>Liparis sp.</i>	<u>До 0,02</u> 0,002
VI	Семейство Gasterosteidae	
9	<i>Gasterosteus aculeatus</i>	<u>До 0,04</u> 0,004
VII	Семейство Ammodytidae	
10	<i>Ammodytes hexapterus</i>	<u>До 0,04</u> 0,004
VIII	Семейство Pleuronectidae	
11	<i>Glyptocephalus stelleri</i>	<u>0,08–0,20</u> 0,02

В таблице 4 приведены данные по абсолютной численности ихтиопланктона в прибрежных водах на Северо-Рымникском участке, которые могут быть использованы для расчетов ущерба на данном участке и на сопредельных акваториях восточного Сахалина.

Следует отметить, что в обоих случаях (фоновая съемка и съемка с буксируемыми ПИ) доля икры с визуальными повреждениями была незначительна. Отмеченные повреждения касались, прежде всего, бластодиска и эмбрионов, в то время как оболочки оставались неповрежденными. Бластодиск в некоторых икринках имел нечеткий край. Однако это явление могло возникать по естественным причинам, поэтому при оценке общего воздействия пневмоисточников, прежде всего, обращалось внимание на сердечную функцию нормально развивающихся эмбрионов на III–IV стадиях развития в икре массовых видов рыб (минтая, желтоперой и дальневосточной длинной камбалы).

У эмбрионов минтая в фоновой съемке количество сердцебиений было заметно выше: на III стадии развития – 96,7 уд./мин., на IV стадии – 135,5 уд./мин. В съемке с ПИ количество сердцебиений эмбрионов на этих же стадиях в среднем составляло 56,8 и 60 уд./мин. соответственно.

В фоновой съемке отмечено более высокое количество эмбрионов с равномерным сердцебиением – 82,1%, и меньшее количество мертвых эмбрионов – 13,0%. Для исследований с ПИ эти показатели составили 47,1 и 52,9% соответственно (табл. 5). В то же время в фоновой съемке несколько выше, чем в съемке с ПИ, была доля эмбрионов с аритмией – 4,9 и 2,0% соответственно. Снижение количества эмбрионов с неравномерным сердцебиением под воздействием ПИ связано, очевидно, с более быстрой остановкой сердца, приводящей к смерти эмбриона.

В целом, воздействие пневмоисточников выражается в дополнительном увеличении смертности икры, в среднем для массовых видов она составила 42,6%, для икры минтая – 26,4% (см. табл. 5).

В ходе изучения нефиксированных проб ихтиопланктона, подвергшихся воздействию пневмоисточников, возникло также предположение, что гидродинамические удары стимулируют выклев эмбрионов на IV стадии развития. Если в фоновой съемке предличинки минтая и длинной камбалы в процессе выклева не встречались, то в съемке с пневмоисточниками на их долю приходилось уже 16,3% от общей численности личинок. Причем, для минтая доля выклевывающихся предличинок составляла 42,9% из учтенных личинок этого вида, а для длинной камбалы – 87,5%. Как правило, выклюнувшиеся сразу после отбора проб предличинки не имеют визуальных повреждений, так как оболочка икринки в некоторой степени защищает их от механического воздействия. Тем не менее, часть эмбрионов на IV стадии (7,7%) получают повреждения от воздействия ПИ, характерные для личинок, – деформацию миомеров и позвоночника. Основная часть выклюнувшихся после воздействия источников эмбрионов гибла в течение нескольких часов.

Личинки в большей степени подвержены воздействию ПИ, так как не имеют защитной оболочки, снижающей отрицательное влияние ПИ. Под действием ударной волны у личинок происходит, прежде всего, деформация миомеров и позвоночника в разных отделах, иногда отрыв кишечника и разрыв тела полностью. Такие повреждения свойственны, в основном, личинкам, имеющим удлиненную форму тела (корюшковым, сельдевым, песчанковым). У личинок с укороченной формой повреждения такого рода встречаются значительно реже. Если



повреждения позвоночника и происходят, то, в основном, только в хвостовой части тела. Так, в исследованиях с буксируемыми ПИ личинки морской малоротой корюшки и дальневосточной мойвы имели деформацию миомеров и позвоночника в 100% случаев, соответственно, и 100%-ную смертность. В целом, относительная численность личинок с деформированными миомерами и позвоночником в съёмке с буксируемыми источниками составляла 62,5%, тогда как в фоновых исследованиях – 15,4% (табл. 6).

Таблица 5

**Сравнительная характеристика повреждений и смертности икры в фоновых исследованиях и в съёмке с буксируемыми источниками в прибрежных водах восточного Сахалина в августе 2004 г.**

Видовой состав	Стадия	Кол-во икринок	Количество сердцебиений, уд./мин. Предельное Среднее	Доля эмбрионов с равномерным сердцебиением, шт. (%)	Доля эмбрионов с аритмией, шт. (%)	Доля мертвых эмбрионов, шт. (%)	Поврежденные, всего*, шт. (%)
Фоновые исследования							
<i>Theragra chalcogramma</i>	III	9	$\frac{68,0-120,0}{96,7}$	6 (66,7)	1 (11,1)	2 (22,2)	3 (33,3)
	IV	6	$\frac{102,0-168,0}{135,5}$	4 (66,7)	0	2 (33,3)	2 (33,3)
	III+IV	15	$\frac{68,0-168,0}{104,7}$	10 (66,7)	1 (6,7)	4 (26,7)	5 (33,3)
<i>Glyptocephalus stelleri</i>	III	38	$\frac{46,0-136,0}{99,3}$	32 (84,2)	2 (5,3)	4 (10,5)	6 (15,8)
	IV	43	$\frac{78,0-168,0}{115,3}$	33 (76,7)	3 (6,7)	7 (16,3)	10 (23,3)
	III+IV	81	$\frac{46,0-168,0}{107,4}$	65 (80,2)	5 (6,2)	11 (13,6)	16 (19,8)
<i>Limanda aspera</i>	III	23	$\frac{54,0-114,0}{91,8}$	21 (91,4)	1 (4,3)	1 (4,3)	2 (8,7)
	IV	43	$\frac{52,0-124,0}{102,1}$	37 (86,0)	1 (2,3)	5 (11,6)	6 (14,0)
	III+IV	66	$\frac{52,0-124,0}{98,5}$	58 (87,9)	2 (3,0)	6 (9,10)	8 (12,1)
ИТОГО, все виды	III+IV	162		133 (82,1)	8 (4,9)	21 (13,0)	29 (17,9)
Съёмка с буксируемыми пневмонисточниками							
<i>Theragra chalcogramma</i>	III	46	$\frac{32,0-72,0}{56,8}$	21 (45,7)	0	25 (54,3)	23 (47,8)
	IV	5	$\frac{60,0-92,0}{75,0}$	3 (60,0)	1 (20,0)	1 (20,0)	2 (40,0)
ИТОГО	III+IV	51	$\frac{32,0-92,0}{60}$	24 (47,1)	1 (2,0)	27 (52,9)	25 (49,0)
Воздействие источников на икру всех видов с поправкой на смертность в фоновых исследованиях, %	III+IV ст.						42,6
Воздействие источников на икру минтая с поправкой на смертность в фоновых исследованиях, %	III+IV ст.						26,4

\* Учтены мертвые эмбрионы и эмбрионы с аритмией.

Таблица 6

**Сравнительная характеристика повреждений и смертности личинок  
в фоновой съемке и в съемке с воздействием пневмоисточников  
в прибрежных водах восточного Сахалина в августе 2004 г.**

Сравниваемые характеристики		Фоновая съемка	Съемка с пневмо- источниками
Характер повреждений, %	Наличие нормальных сердцебиений, %	38,5	7,5
	Деформация миомеров и позвоночника, %	15,4	62,5
	Повреждения глаз, %	7,7	46,3
	Повреждения кишечника, %	30,8	31,3
	Кровоизлияния, %	0	1,3
	Повреждения плавниковой каймы, %	38,5	75,0
	Относительная численность погибающих, %	0	1,2
	Относительная численность мертвых, %	46,2	92,5
	Относительная численность живых, %	53,8	6,3
	Поврежденных, всего*, %	46,2	93,7
	Поврежденных, всего с поправкой на смертность в фоновых исследованиях, %	99,2	

\* С учетом погибающих личинок.

Для личинок с удлинённой формой тела в большей степени было характерно и повреждение плавниковой каймы. Этот вид повреждений не относится к вызывающим мгновенную гибель личинок, но резко снижает их жизнеспособность. Личинки с поврежденной каймой встречались в исследованиях с пневмоисточниками в 75% случаев, тогда как в фоне их относительная численность составила 38,5%. Значительную долю в исследованиях с пневмоисточниками составляли личинки с повреждениями глаз – 46,3%. Доля личинок с другими дефектами была незначительна.

Все перечисленные повреждения были несовместимы с нормальной жизнедеятельностью личинок, а большинство вызывало или мгновенную смертность, или являлось причиной гибели личинок в течение короткого периода времени, что прослеживалось по характеру сердцебиений и относительной численности живых личинок в фоне и в съемке с ПИ. Доля личинок с нормальным сердцебиением, не подвергавшихся воздействию пневмоисточников, составляла 38,5%, тогда как в эксперименте их количество снижалось до 7,5% (см. табл. 6).

Разница в относительной численности поврежденных личинок между двумя съемками, характеризующая их негативное влияние на ихтиопланктон, составила 47,5%. С учетом поправки на смертность в фоновых исследованиях доля погибших личинок от пневмоисточников в зоне наложения волн от источников обеих линий достигает 99,2%.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фоновые исследования планктонных сообществ позволили оценить состояние зоо- и ихтиопланктона в мелководной зоне Северо-Рымникского участка Пограничной площади восточного Сахалина. Из-за ограниченности района работ в 2004 г. для расчетов ущерба необходимо использовать среднесезонные значения биомассы и соотношения групп зоопланктона. В этом случае биомасса зоопланктона для летнего периода составит 1472,47 мг/м<sup>3</sup> при доминировании копепод, эвфаузи-

ид и кладоцер. Высокие показатели численности и биомассы первых двух групп не вызывают сомнений, а высокое значение относительной биомассы кладоцер вполне корректно при расчете ущерба от сейсмопрофилирования, так как буксировка пневмоисточников происходит в верхнем слое (6–1 м), где концентрации ветвистых раков наиболее значительные.

Для различных групп зоопланктона воздействие линейных пневмоисточников имеет разную интенсивность. Наиболее подвержен воздействию желетелый планктон, доля повреждений которого в зоне интерференции достигала 62,4%. Наиболее важные группы кормового планктона – копеподы, эвфаузииды, крылоногие моллюски, полихеты, теряют от 30,9 до 3,3% численности. Для таких групп планктона, как микропланктон, щетинкочелюстные и пелагические амфиподы, морфологические повреждения при работе с линейными пневмоисточниками не выявлены.

Пелагические личинки промысловых беспозвоночных на стадии мегалопа подвергаются воздействию пневмоисточников, в результате чего происходит гибель 7,2% личинок, попавших в зону воздействия буксируемых линий. Эти результаты необходимо учитывать в расчетах прямых потерь промысловых животных, в частности личинок крабов *Chionoectes opilio* и *Telmessus cheiragonus*.

Состав ихтиопланктона во время проведения натуральных исследований включал икру пяти видов и личинок 11 видов рыб, обитающих на шельфе северо-восточного Сахалина. Основу численности икры составил минтай, личинок – мойва.

У икры рыб визуальные механические повреждения в зоне суммарного воздействия двух буксируемых линий пневмоисточников встречались чрезвычайно редко. В основном происходило нарушение ритма сердцебиения эмбрионов, вплоть до полной остановки сердца. В натуральных исследованиях смертность икры в среднем для массовых видов составила 42,6%, для икры минтая – 26,4%.

Травмирование личинок от воздействия линейных ПИ в естественных условиях происходит намного интенсивнее, чем икры. У личинок часто встречаются визуальные повреждения кожных покровов, плавниковой каймы, глаз, кишечника, миомеров, позвоночника. Смертность личинок в зоне суммарного воздействия двух буксируемых линий ПИ достигает 99,2%.

Исследования, проведенные при работе пневмоисточников, позволили проследить суммарное влияние на планктон двух линий пневмоисточников. Отбор проб в поверхностном горизонте показал, что повреждения планктона наблюдаются не только вблизи источников, но и во всем столбе воды. Данный факт мы связываем с подъемом и пульсацией воздушного пузыря после инициации ПИ. Комплексное воздействие физических факторов при работе буксируемых линий пневмоисточников на зоопланктон выражается как в поведенческих реакциях – снижение двигательной активности, общего состояния «оглушенности» планктеров, так и в появлении специфических морфологических повреждений жизненно важных частей тела, служащих для движения, питания или размножения.

Величины относительной смертности наиболее массовых групп зоопланктона, полученные при работе буксируемых группированных пневмоисточников, необходимо использовать в расчетах ущерба биоресурсам при осуществлении сейсморазведки на морских акваториях.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Богоров, В. Г. Инструкция для проведения гидробиологических работ в море (планктон, бентос) / В. Г. Богоров. – М.–Л. : Изд-во Главсевморпути, 1947. – 127 с.

2. Векилов, Э. Х. Влияние сейсморазведки на морскую биоту / Э. Х. Векилов, Ю. М. Полонский // Охрана вод. биоресурсов в условиях интенсивного освоения нефтегазовых месторождений на шельфе и внутр. вод. объектах РФ : Сб. материалов Междунар. семинара. – М., 2000. – С. 21–25.

3. Влияние морских геофизических работ на арктические биоценозы // Теор. подходы к изуч. экосистем морей Арктики и Субарктики / Под ред. Г. Г. Матишова. – Апатиты, 1992. – С. 100–112.

4. Временная методика оценки ущерба, наносимого рыбным запасам в результате строительства, реконструкции и расширения предприятий, сооружений и других объектов и проведения различных видов работ на рыбохозяйственных водоемах. – Москва, 1990. – 64 с.

5. Гидробиологическая характеристика шельфовой зоны северо-востока Сахалина и о. Тюлений : Отчет о НИР «Экол. мониторинг шельфовой зоны вост. Сахалина при освоении мор. нефтегаз. месторождений» / СахНИРО; рук. В. С. Лабай. – Ю-Сах., 2001. – 305 с. – Арх. № 8602.

6. Инструкция по количественной обработке морского сетного планктона. – Владивосток : ТИНРО, 1982. – 29 с.

7. Инструкция по сбору и первичной обработке планктона в море. – Владивосток : ТИНРО, 1974. – 49 с.

8. Исследование воздействия упругих волн от сейсмоисточников на сообщества зоо- и ихтиопланктона прибрежных вод северо-восточного Сахалина : Отчет о НИР / СахНИРО; отв. исполн. И. А. Немчинова. – Ю-Сах., 2005. – 128 с. – Арх. № 9958.

9. Мануйлова, Е. Ф. Ветвистоусые рачки фауны СССР / Е. Ф. Мануйлова. – М. : «Наука», 1964. – 326 с.

10. Методические рекомендации по установлению эколого-рыбохозяйственных нормативов (ПДК и ОБУВ) загрязняющих веществ для воды, водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение. – М. : Изд-во ВНИРО, 1998. – 147 с.

11. Муравейко, В. М. Оценка экологических последствий влияния техногенных акустических полей на гидробионтов северных морей / В. М. Муравейко, В. Б. Зайцев, Ю. И. Иванкина. – Апатиты, 1994. – 28 с.

12. Павлов, Д. С. Покатная миграция рыб через плотины ГЭС / Д. С. Павлов, А. И. Лупандин, В. В. Костин. – М. : Наука, 1999. – 255 с.

13. Протасов, В. Р. Способы сохранения ихтиофауны при различных видах подводных работ / В. Р. Протасов, П. Б. Богатырев, Э. Х. Векилов. – М. : Легкая и пищ. пром-ть, 1982. – 88 с.

14. Саматов, А. Д. Оценка воздействия пневмоисточников на зоопланктон при проведении сейсморобот в шельфовой зоне восточного Сахалина / А. Д. Саматов, И. А. Немчинова // Междунар. семинар «Охрана вод. биоресурсов в условиях интенсивного освоения нефтегаз. месторождений на шельфе и внутр. вод. объектах РФ» : Сб. материалов. – М., 2000. – С. 196–207.

15. Экологическая характеристика шельфовой зоны Охотского моря у берегов северо-восточного Сахалина в августе 2002 г. : Отчет о НИР (промежуточ.) / СахНИРО; рук. Н. В. Печенева. – Ю-Сах., 2003. – 187 с. – Арх. № 9408.