

© М.А. ГОРДЕЕВА, Н.Г. ИЛЬМИНСКИХ, С.Н. ГАШЕВ

maryan-81@yandex.ru , gsn-61@mail.ru

УДК 591.5:538.31

**ПОВЫШЕНИЕ ВИТАЛИТЕТА У БРЮХОНОГИХ МОЛЛЮСКОВ  
(GASTROPODA) В УСЛОВИЯХ НЕФТЯНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ  
ПОСРЕДСТВОМ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫМИ ПОЛЯМИ**

*АННОТАЦИЯ.* Исследовано стимулирующее воздействие электромагнитных полей на брюхоногих моллюсков (*Gastropoda*) в условиях нефтяного загрязнения (1,5 и 2 мг/л). Показаны повышение выживаемости моллюсков и кратное увеличение численности их потомства в сравнении с контролем, оценивается в целом как повышение виталитета. Рассматриваются механизмы токсикорезистентности.

*SUMMARY.* The stimulating influence of electromagnetic fields on gastropod mollusks (*Gastropoda*) in the conditions of oil pollution (1,5 and 2 mg/l) was investigated. The increase of survival rate of mollusks and multiple increase in number of their posterity in comparison with control are shown, the increase of vitality is estimated as a whole. The mechanisms of toxicoresistance are considered.

*КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА.* Высоковольтные линии электропередач (ЛЭП), экологический фактор, стимулирующее воздействие на живые организмы, неспецифическая токсикорезистентность, виталитет.

*KEY WORDS.* High-voltage of power transmission, ecological factor, stimulating influence on live organisms, nonspecific toxiresistent, vitality.

**Введение.** Неизбежным следствием технического прогресса является электромагнитное «загрязнение» окружающей среды. Одним из мощных источников электромагнитного загрязнения являются высоковольтные линии электропередач (ЛЭП). Генерируемые этими линейными техногенными источниками электромагнитные поля (ЭМП) стали весьма значимым экологическим фактором. Проблема воздействия электромагнитных излучений на экосистемы все еще мало изучена, хотя к настоящему времени накоплены многочисленные данные опытов *in vitro* практически для всех групп организмов. Вся совокупность таких данных имеет два недостатка: во-первых, они часто противоречивы, и во-вторых, что важнее, в лабораторных опытах невозможно воспроизвести всю совокупность экосистемных, в т.ч. консортивных связей. Электромагнитные излучения, наряду с другими жесткими техногенными факторами, такими, как нефтяное загрязнение [1], [2], [3], могут выступать как один из ведущих лимитирующих факторов развития экосистем, их отдельных компонентов и элементов.

Основными эффектами воздействия таких факторов являются элиминация видов, не способных адаптироваться к новым воздействиям, возникновение устойчивых популяций с модифицированным фенотипом и генотипом, сопровождающееся рядом эффектов, среди которых — замедление темпов развития, возникновение зависимости от данного фактора в среде обитания, возникновение мутантных форм [4], [5], [6].

Как известно, антропогенные (в т.ч. техногенные) экологические факторы слабой интенсивности могут оказывать стимулирующее воздействие на живые организмы [1].

В целях выявления возможного стимулирующего воздействия электромагнитных полей нами был проведен ряд экспериментов с различными гидробионтами. [7], [8]. В данной статье приведены результаты ряда экспериментов над брюхоногими моллюсками (*Gastropoda*).

**Цель** работы состояла в изучении эффектов повышения неспецифической токсикорезистентности брюхоногих моллюсков (*Gastropoda*) — обыкновенного прудовика (*Lymnaea stagnalis*) и роговой катушки (*Planorbis carnea rubra*) электромагнитными полями в условиях хронического нефтяного загрязнения, типичного для Западной Сибири, в целом отражающие повышение их виталитета.

**Материалы и методы исследований.** В июне-сентябре 2006 г. было поставлено несколько серий экспериментов по влиянию электромагнитных полей промышленной частоты на обыкновенном прудовике и роговой катушке. Для проведения опытов на прудовике как более чувствительном объекте была выведена лабораторная культура, катушек ввели в эксперимент без предварительной акклимации.

Для оценки физиологической чувствительности моллюсков проводился острый опыт с использованием стандартного вещества — бихромата калия —  $K_2Cr_2O_7$ . Полученные значения летальных концентраций бихромата калия находились в интервале 50.0-70.0 мг/дм<sup>3</sup>.

В постановке подострого (48 часов) опыта использовалась средневозрастная половозрелая группа моллюсков [9]. После предварительных исследований в качестве исследуемого поллютанта был принят раствор с концентрацией водорастворимой фракции нефти (ВРФН) 1,5 и 2 мг/л, т.е. 30 и 40 ПДК<sub>рбхз</sub>. Изменение состояния брюхоногих моллюсков в трехкратной повторности по каждому варианту оценивали по выживаемости, поведенческим реакциям (устанавливали визуально), степени поедания корма, изменению массы и размеров тела, а также выживаемости контрольных и опытных эмбрионов. Массу и размеры тела определяли в начале опыта и через каждые 10 суток, остальные показатели — по его окончании. Вели учет показателей потенциальной и реальной плодовитости, для чего отложенные моллюсками кладки изымали, помещали в химические стаканы и вели наблюдения. Кладки, отложенные в один день при одной и той же концентрации ВРФН, переносили в емкость с той же средой для дальнейшего индивидуального наблюдения.

С целью выявления кумулятивного действия сублетальных концентраций загрязнителя в начале и в конце эксперимента, кладки, полученные от интактных и интоксцированных материнских особей, разрезались пополам, затем одна половинка помещалась в раствор токсиканта, другая — в чистую воду (водопроводную отстоянную).

Экспозиция эксперимента составляла 30 (*Lymnaea stagnalis*) и 60 суток (*Planorbis carnea rubra*). С прудовиком было проведено два хронических эксперимента, с катушкой — один. Обработке ЭМП подвергались взрослые особи опытных партий моллюсков за трое суток до перевода в нефтяной раствор. Использовался генератор промышленных частот с напряженностью электромагнитного поля 50 Гц.

В целях выявления скрытой патологии выживших в хроническом опыте моллюсков животных подвергали функциональной нагрузке с помощью перенесения их в воду с высокой соленостью (10 г/л) на 2 часа с перерывом 3 суток [10]. Все опыты были поставлены на лабораторных столах на фоне естественной суточной ритмики температурного режима (22-25°C) и освещенности [9].

**Результаты и обсуждение.** В ходе эксперимента выживаемость моллюсков опытной партии (катушка, прудовик обыкновенный) в токсической среде с сублетальными концентрациями ( $K_{40}$  и  $O_{40}$  — 40 ПДК в контроле и опыте) кратно превышала таковую в контрольной партии (рис. 1, табл. 1). По сравнению с опытными в контрольных группах наблюдалась повышенная смертность. На 5 сутки смертность в контроле стала резко возрастать, а в опытных группах численность особей до окончания эксперимента держалась на высоком уровне, значительно превышая контрольную.

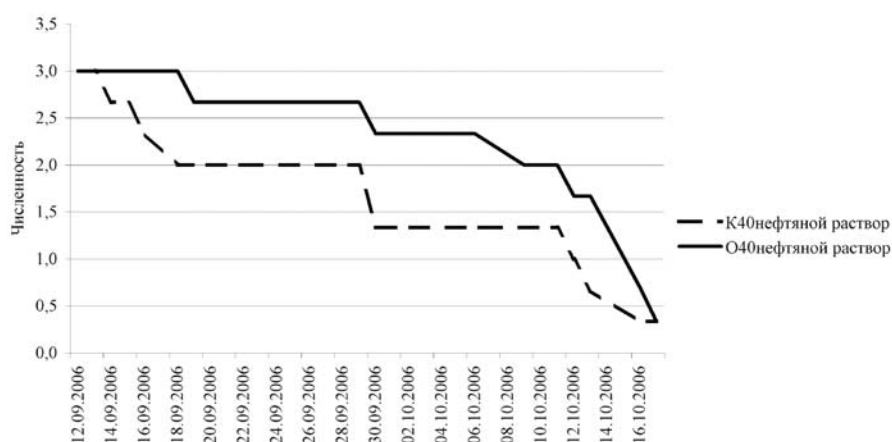


Рис. 1. Выживаемость прудовика K40 и O40. Условные обозначения: K40 — ВРФН 40 ПДКрбхз, O40 — ВРФН 40 ПДКрбхз (нефть + ЭМП)

Таблица 1

**Выживаемость моллюсков  $K_{40}$  и  $O_{40}$  (нефть + ЭМП).**

Наименование показателей	$K_{40}$	$O_{40}$	T-критерий Стьюдента
Катушка			
n	57	57	—
$\bar{x} \pm s_x$	2,1±0,03	3	—
cv	11,6	0	—
Прудовик			
n	26	26	k = 50
$\bar{x} \pm s_x$	1,7±0,14	2,3±0,13	3,14****
cv	43,4	29,2	—

Примечание: здесь и далее различия достоверны при \* —  $P < 0,10$ , \*\* —  $P < 0,05$ , \*\*\* —  $P < 0,01$ , \*\*\*\* —  $P < 0,001$ .

В начале действия токсикантов у моллюсков визуально наблюдалось обводнение тела, сменявшееся его уплотнением. В дальнейшем отмечались такие признаки токсикоза, как обильное выделение слизи, гидроотек ноги, уплотнение ткани, замедленная ответная реакция на болевые раздражители (уколы иглой), которые наиболее отчетливо проявлялись у катушек контрольных партий.

Численность прудовика из опытных партий также превышала контрольную (табл. 1). На 8 сутки в условиях ВРФН 2 мг/л потенциальная плодовитость опытных моллюсков (катушка, прудовик обыкновенный) была выше (рис. 2, табл. 2), что обусловлено воздействием ЭМП, активизирующим репродукционный потенциал подопытных партий в условиях сублетальных концентраций. Линейный и весовой приросты опытных моллюсков (катушка, прудовик обыкновенный) на протяжении всего эксперимента были выше (рис. 3, табл. 3).

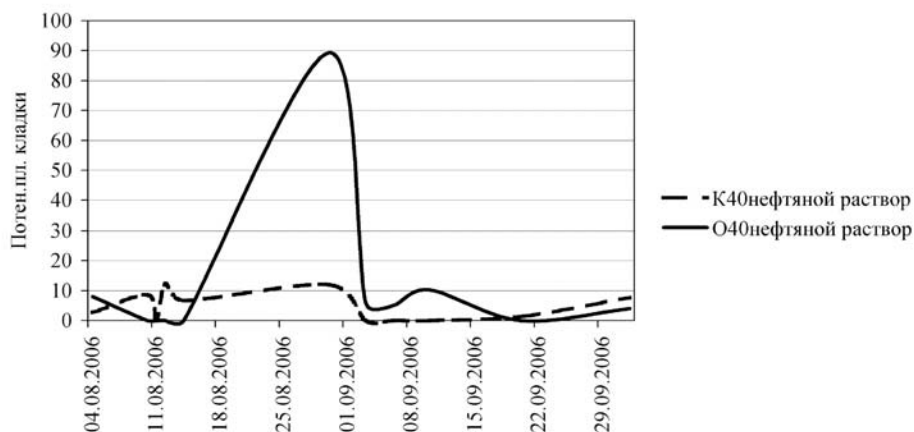


Рис. 2. Потенциальная плодовитость катушки K40 и O40. Условные обозначения: K40 — ВРФН 40 ПДКрбхз, O40- ВРФН 40 ПДКрбхз (нефть + ЭМП)

Таблица 2

**Показатели плодовитости моллюсков  $K_{40}$  и  $O_{40}$  (нефть + ЭМП)**

Наименование показателей	$K_{40}$	$O_{40}$	T-критерий Стьюдента
Потенциальная плодовитость катушки			
n	11	11	k = 20
$\bar{x} \pm s_x$	4,7±1,49	11,1±7,89	0,80
cv	105,8	234,9	—
Реальная плодовитость прудовика			
n	8	8	k = 14
$\bar{x} \pm s_x$	1,5±1,36	5,1±2,50	1,20
cv	257,0	137,9	—

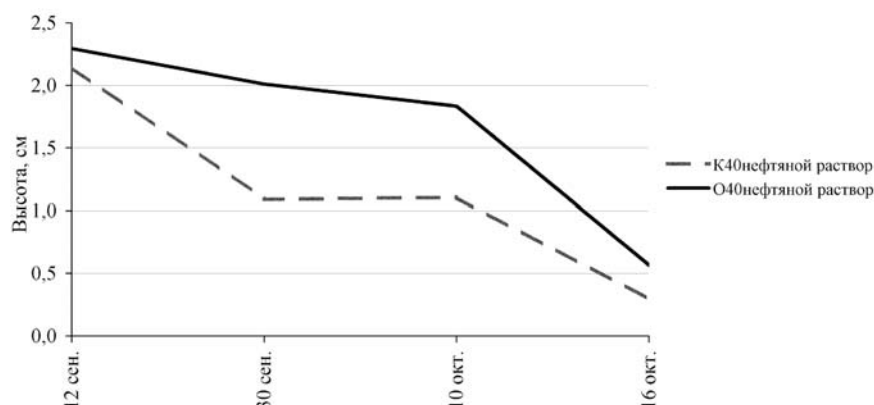


Рис. 3. Высота раковины прудовика K40 и O40. Условные обозначения: K40 — ВРФН 40 ПДКрбхз, O40- ВРФН 40 ПДКрбхз (нефть + ЭМП)

Таблица 3

### Морфологические показатели моллюсков K<sub>40</sub> и O<sub>40</sub> (нефть + ЭМП)

Наименование показателей	K <sub>40</sub>	O <sub>40</sub>	T-критерий Стьюдента
Масса катушки			
n	7	7	k=12
$\bar{x} \pm s_x$	0,5±0,05	0,6±0,05	1,41
cv	26,2	20,7	—
Высота раковины прудовика			
n	4	4	k = 6
$\bar{x} \pm s_x$	1,2±0,37	1,7±0,37	0,96
cv	64,1	44,5	—

Скрытая патология выживших в хроническом опыте контрольных и опытных моллюсков выявлялась с помощью функциональной солевой нагрузки (10 г/л). При перемещении выживших моллюсков в раствор NaCl (2 раза по 2 часа с перерывом 3 суток) установлена различная скорость реагирования на новый экстремальный фактор как интактных (воздействие нефти) так и опытных моллюсков (ЭМП + нефть), а также скорость обратимости воздействия при перенесении в чистую воду. В конце эксперимента по функциональной нагрузке (после второй пересадки в солевой раствор) погибло 95% контрольных моллюсков и 17% опытных моллюсков. У выживших моллюсков при перенесении в чистую воду время обратимости в контроле составило 20 мин, у опытных — 10 мин. Более того, моллюски опытных партий после перенесения их в чистую воду (после второй пересадки) отложили по несколько кладок (3-4 кладки) и активно питались.

Таким образом, результаты наших исследований подтверждают вывод Л.В. Михайловой, О.Н. Баженовой в том, что метод функциональных нагрузок обладает высокой эффективностью и позволяет в кратчайший срок выявить скрытые патологические нарушения в организме, вызываемые хроническим

действием ВРФН и не позволяющие им адаптироваться к изменению абиотических факторов [10].

Известно, что моллюски на ранних стадиях онтогенеза наиболее уязвимы [11]. Под воздействием ВРФН наблюдались нарушение эмбрионального развития, повышенная смертность молоди, возникновение терат. В контрольных партиях (30 и 40 ПДК) отмечали задержку развития эмбрионов, выход молоди происходил на 13-14 сутки инкубации, а заканчивался на 16-18, в опытных — на 10-12 и 13-14, соответственно. Полученные нами данные перекликаются с результатами других исследователей. Так, на *Bithynia tentaculata* и других моллюсках в аномальных условиях среды при тепловом загрязнении сточными водами ЛАЭС в Финском заливе показано, что эмбриогенез затягивается, а ооциты при 28°C и более подвергаются дегенерации [10].

Типичной реакцией катушки и прудовика на нефтепродукты являлось более интенсивное откладывание мелких или пустых кладок [11, 12]. Контрольные моллюски, подверженные воздействию ВРФН, откладывали пустые коконы (синкапсулы) без яйцевых капсул, или сами кладки были сильно видоизменены, а эмбрионы в яйцевых капсулах деформированы. Такие аномалии достигали 60%, тогда как в опытных вариантах не превышали 30%. Во всех вариантах проведенного эксперимента устойчивость катушки значительно превосходила резистентность прудовика. По литературным данным, при исследовании реакции миоцитов роговой катушки и прудовика, а также их эмбрионов на различные концентрации солей меди и сульфата кадмия была установлена высокая чувствительность к тяжелым металлам у *L. stagnalis* и низкая у *P. planorbis* [11], [12]. Стабильно нарастающая численность молоди опытных партий лимнеид подтверждает эффективность воздействия электромагнитных полей (рис. 1).

Все двустворчатые моллюски и водные брюхоногие обладают бесконечным ростом, т.е. нарастание массы и линейных размеров происходит в течение всей жизни животного. Темп роста моллюсков в значительной степени зависит от внешних экологических условий, в первую очередь от температуры и гидрохимического состава внешней среды [12].

В связи с этим нами было выполнено сравнительное исследование изменений размера и массы тела [12]. В контрольных партиях максимум высоты раковины катушки ( $h$  max) составлял 1 см, максимум ширины ( $l$  max) раковины катушки составлял 1 см. В опытных партиях  $h$  max раковины катушки составлял 1.5 см,  $l$  max раковины катушки составлял 1.6 см. Средняя масса тела контрольного моллюска составляла 0.4 г, опытного моллюска - 0.5 г.

В контрольных партиях  $h$  max раковины прудовика составлял 2.9 см,  $l$  max раковины катушки составлял 4.4 см. В опытных партиях  $h$  max раковины катушки составлял 3.1 см,  $l$  max раковины катушки составлял 4.8 см. Средняя масса тела контрольного моллюска составляла 6.0 г, опытного моллюска 4.7 г.

Таким образом, прослеживается прямолинейная связь в изменчивости характеристик роста и среды [3, 13]. ВРФН подавляет пластический обмен контрольных моллюсков и нарушает общую регуляцию в организме в связи с переключением энергии на детоксикацию [8].

Продолжительность жизни, предельные размеры и масса особей являются важнейшими показателями, определяющими энергобаланс особи [11]. Не менее важно и изучение темпов линейного роста и размеров моллюсков в связи

с различными условиями среды. Поскольку рост (индивидуальный и групповой) представляет собой отражение влияния на особь и популяцию множества разных факторов, то параметры роста (дефинитивные размеры и скорость их достижения) дают возможность оценить интегральные изменения жизнедеятельности в конкретных условиях среды. Поэтому в экологическом отношении исследования роста выступают как более значимые по сравнению с изучением отдельных физиологических функций животных (питания, дыхания) [12], [15].

Одним из основных показателей в токсикологических экспериментах является размножение организмов. При действии малых доз токсиканта организм может жить длительное время, однако отмечаются многочисленные аномалии в развитии, формируется неполноценное потомство [13]. Эмбриональные и личиночные стадии развития, как правило, наиболее чувствительны к токсикантам по сравнению с взрослыми особями [11]. Под воздействием токсиканта наблюдается нарушение эмбрионального развития, повышенная смертность молоди, возникновение терат. В контрольных партиях ВРФН 30-40 ПДКрбхз (без ЭМП) развитие эмбрионов происходило с задержкой, выход молоди начинался на 13-14 сутки инкубации, и заканчивался на 16-18 сутки. В опытных партиях (ЭМП+нефть) выход начинался на 10-12 сутки, заканчивался на 13-14.

Характерной реакцией на высокую концентрацию токсиканта являлось более интенсивное откладывание мелких или пустых кладок. Контрольные моллюски, подверженные воздействию только ВРФН, откладывали пустые кладки, т.е. коконы (синкапсулы) без яичевых капсул, или кладки были сильно видоизменены, а эмбрионы в яичевых капсулах модифицированы. В опытных партиях (ЭМП+нефть) отклонений было в 1.5 раза меньше. Наиболее существенное расхождение контроля и опыта наблюдалось на сроках созревания эмбрионов. В чистой воде выклев происходил на 2-4 суток раньше, выживаемость опытных эмбрионов была на порядок выше, чем у контрольных.

Увеличение потенциальной и реальной плодовитости при воздействии ЭМП в условиях воздействия ВРФН свидетельствует о том, что происходит рост рождаемости, направленный на компенсацию высокой смертности и поддержание численности популяции (рис. 2, табл. 2) [2]. М.Б. Голант [12] отмечал, что внешние излучения могут восполнить недостаточность функционирования системы управления организма, когда определенные причины (например, патогены, токсичный фон окружающей среды и др.) привели к нарушению или снижению эффективности генерации им сигналов этих частот. Это явление подтверждается нашими исследованиями: воздействие ЭМП уменьшает расхождение между потенциальной и реальной плодовитостью, а также снижает тератогенный эффект (появление морфофизиологических аномалий) в период эмбрионального развития.

**Заключение.** Таким образом, можно констатировать, что воздействие электромагнитных полей повышает виталитет брюхоногих моллюсков в условиях нефтяного загрязнения, и, как следствие, их адаптационный потенциал, стимулирует неспецифическую резистентность, что проявляется не только в снижении тератогенного эффекта от водорастворимых фракций нефти в период эмбрионального развития моллюсков, но и в повышении выживаемости, темпа роста и плодовитости половозрелых особей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брагинский Л.П., Береза В.Д., Биргер В.М., Буртная И.Л. и др. Экспериментальное тестирование токсичности водной среды и повышенная чувствительность биологических тестов / Влияние загрязняющих веществ на гидробионтов и экосистемы водоемов. Л: Наука, 1982. С. 324-336.
2. Пресман А.С. Электромагнитные поля и живая природа. М.: Наука, 1968. 288 с. 111.
3. Pals, N., Valentijn, P., Verwey, D. 1982 Orientation reactions of the Dogfish, *Scyliorhinus canicula*, to local electric fields // Netherlands Journal of Zoology. V. 32. № 4. P. 495-512.
4. Александров В.В. Электрокинетические поля гидробионтов. Биоритмы локомотивной активности. Связь с геомагнетизмом // Биофизика. 1995. Т. 40. Вып.4. С. 771-776.
5. Еськов Е. К., Сапожников А. М. // Биофизика. 1976. Т. 21. № 6. С. 1097.
6. Леднев В.В. Биоэффекты слабых комбинированных, постоянных и переменных магнитных полей // Биофизика, 1996. Т. 41. Вып. 1. С. 224-232.
7. Селюков А.Г., Гордеева М.А., Халилова Л.Р. Активизация сверхслабыми импульсными магнитными полями адапционных механизмов *Ceriodaphnia affinis* (Cladocera) к нефтяному загрязнению // Тр. междунар. форума по проблемам науки, техники и образования. М., 2005. Т. 3. С. 57-58.
8. Гордеева М.А., Селюков А.Г., Халилова Л.Р. Влияние городской инфраструктуры на экосистемы Туры и поиск эффективных путей экологической реабилитации // М-лы междунар. научно-практ. конф. «Экология теоретическая и прикладная. Проблемы урбанизации». Екатеринбург: УрГУ, 2005. С. 102-104.
9. Временное методическое руководство по нормированию уровней содержания химических веществ в донных отложениях поверхностных водных объектов (на примере нефти)/ФГУП «ГОСРЫБЦЕНТР» РЭФИА, НИА — Природа, Москва, 2002.
10. Михайлова Л.В., Баженова О.Н. Влияние бурового шлама (БШ) Кальчинского месторождения Тюменской области на моллюсков *Planorbis rugosa* и выявление скрытой патологии с помощью функциональной нагрузки // Современные проблемы физиологии и биохимии водных организмов / М-лы 2-ой науч. конф. с участием стран СНГ (Петрозаводск, 11-14 сент. 2007 г.). Петрозаводск: Карельский науч. центр РАН, 2007. 93 с.
11. Березкина Г.В., Старобогатов Я.И. Экология размножения и кладки яиц пресноводных легочных моллюсков. Тр. Зоол. ин-та; т. 174. Л., 1988. 307 с.
12. Голант М.Б. Резонансное действие когерентных электромагнитных излучений миллиметрового диапазона на живые организмы // Биофизика. 1989. Т.34. Вып. 6. С. 1004-1014.
13. Круглов Н.Д. Семейство прудовиков Европы и Северной Азии: Смоленск: Изд-во СГПУ, 2005. 507 с.
14. Akberali, H., Trueman, E. Effects of environmental stress on marine bivalve mollusks // Adv. In Marine Biol. 1985. V.22. P. 101-198.
15. Дрегольская И. Н. Цитологические исследования влияния теплового загрязнения на фауну моллюсков восточной части Финского залива // Цитология. 1991. Т. 33, № 10. С. 32-46.