

**Московская школа на Юго-Западе Москвы №1543**

**Наличие фототаксиса у взрослых колоний мшанок вида  
*Cristatella mucedo* Cuvier, 1798 реки Шумаровки Ярославской  
области**

Выполнили ученики 9-го "Б":

Платон Фёдоров

Мария Чжао

Мария Просвирякова

Научные руководители:

Ольга Вадимовна Иванова

к.б.н. Полина Андреевна Волкова

## Введение

Мшанки (Bryozoa) – тип первичноротых колониальных водных животных. Колонии состоят из зооидов, которые несут корону из щупалец с ресничками, при помощи которой они создают ток жидкости, обеспечивающий питание зооида. У большинства мшанок встречается подвижная личиночная стадия, которая последовательно меняет направление движения, сначала в сторону света, а затем от него непосредственно перед метаморфозом (Ryland, 1976). Среди около 6000 современных видов (Bock, Gordon, 2013) на стадии взрослой колонии способность к передвижению встречается крайне редко (Ryland, 1976; Иванов et al, 1985), одним из видов, у которого наблюдается такая способность является *Cristatella mucedo* Cuvier, 1798. Этот вид обитает в стоячих пресных водоемах. Нашими предшественниками у колоний был установлен положительный фототаксис – направленное движение в сторону источника света, в область большей освещённости (Семутников, Гладун, 2023), что противоречит более старой публикации, в которой наблюдался отрицательный фототаксис среди молодых колоний того же вида (Marcus, 1926). Механизм перемещения этой колонии не установлен, но в литературе выдвинуто несколько гипотез: скольжения по выделяемой слизи, работы мускулистой подошвы колонии, а также с использованием направленного тока воды, создаваемого венчиком щупалец.

В нашем исследовании мы поставили следующую цель – доказать наличие положительного фототаксиса у мшанок вида *Cristatella mucedo*. Для достижения этой цели мы поставили следующие задачи:

- Проверить, есть ли направленное движение колоний в зависимости от направления света;
- Сравнить получившиеся результаты с прошлогодними;
- Проверить, меняют ли направление движения колонии при изменении направления света.

## Материалы и методы

Экземпляры мшанок вида *Cristatella mucedo* мы брали из реки Шумаровка вблизи посёлка Борок Ярославской области на глубине не более 20 сантиметров от поверхности у берега. Сбор колоний проводился в период с 29 июня по 3 июля 2024

года. Колонии собирались вместе с субстратом, на котором они были прикреплены (в нашем случае водные растения, у которых можно легко оторвать листья).

Затем колонии мы открепляли пластиковой пипеткой от субстрата и переносили в пронумерованную и расчерченную ёмкость, в которой была налита вода из реки, профильтрованная через 43-й газ (сито с размером ячейки 0,163 мм). На чашках Петри мы отмечали два перпендикулярных диаметра, в контейнерах мы отмечали среднюю линию, которая в экспериментальных ёмкостях являлась линией светораздела. В каждую чашку Петри мы помещали одну колонию. Под каждую ёмкость помещали масштабную миллиметровую линейку. Эксперименты происходили в помещении с верхней лампой яркостью около 700 Люменов, это была единственная доступная нам лампа, в будущем стоит скорректировать яркость лампы под освещенность места обитания мшанок.

На экспериментальные чашки и контейнеры были надеты козырьки так, чтобы они затеняли половину площади дна (рис. 1, 2), а контрольные чашки и контейнеры были освещены полностью. В контейнеры экспериментальной группы колонии мы помещали на линию раздела света и тени, а в ёмкости контроля на эквивалентную среднюю линию.

**Рисунок 1. Мшанки в пластиковых контейнерах, экспериментальная группа закрыта**



У нас были следующие ёмкости: 40 (в первых экспериментах — 19) пластиковых чашек Петри, 18 стеклянных чашек Петри, 12 пластиковых контейнеров (табл. 1). После размещения колоний в ёмкости и их частичного прикрепления на дне, что занимало от одного часа до четырех, мы ставили козырьки на экспериментальные чашки, затем проводили фотографирование каждый час, кроме промежутка между 00:00 и 9:00. Фотографии первых трех экспериментов были сделаны нами с использованием камеры мобильного телефона, расположенного на штативе так, чтобы он был параллелен столу. Фотографирование остальных экспериментов мы производили с помощью камеры мобильного телефона, удерживаемого в руках так, чтобы он был примерно параллелен столу. Штатив был убран из-за того, что он затруднял обработку фотографий; неровность фотографий, сделанных без штатива, компенсировалась при выравнивании фотографий.

Примерно через 22 часа после начала эксперимента с лотками, мы их переворачивали на 180° относительно козырьков так, чтобы другая часть дна была в тени, лотки оставались в таком положении до окончания эксперимента.

Мы заканчивали эксперимент после того, как большая часть мшанок погибала.

После экспериментов все фотографии были объединены в стопки и выровнены друг относительно друга. Это делалось при помощи программы ImageJ (Schindelin, 2012) по методике, разработанной в прошлом году (Семутников, Гладун, 2023). В итоге мы получали таймлапсы, по которым возможно измерение перемещений колоний.

**Рисунок 2. Схема чашки петри с обозначениями.**



В экспериментах 1, 2, 6 и 7 для стопок мы задавали масштаб по миллиметровым линейкам на фотографиях, далее на каждом изображении мы ставили точку на одном конце колонии и измеряли координаты этого конца на каждой фотографии относительно двух перпендикулярных осей (рис. 2): оси Х, параллельной линии светораздела; и оси Y, перпендикулярной ей, соответствующей направлению тень-свет в ёмкостях с козырьками. По этим точкам мы получали данные о перемещении конца колонии. В последствии из этих данных мы получали следующие параметры: перемещение колонии по двум осям Х и Y (путем вычитания последующих координат из предыдущих); общее перемещение колонии (через теорему Пифагора); скорость колонии (путем деления перемещения на время). Далее мы повторяли это действие со вторым концом. Для каждой ёмкости измерения координат проводились двумя людьми независимо, после чего их измерения мы усредняли. Центром колонии мы считали среднее арифметическое координат двух концов колонии, для которого также проводились аналогичные вычисления.

Во всех экспериментах на основе таймлапсов мы вручную отмечали, движется ли колония и в какую сторону: ставили "1" — если колония движется к свету (рис. 2),

“0” — если не движется и “-1” — если движется от света. Для полностью освещенного контроля мы отмечали как движение “к свету” и “от света” движение в ту же сторону, что в экспериментальных ёмкостях.

**Таблица 1. Общая информация об экспериментах**

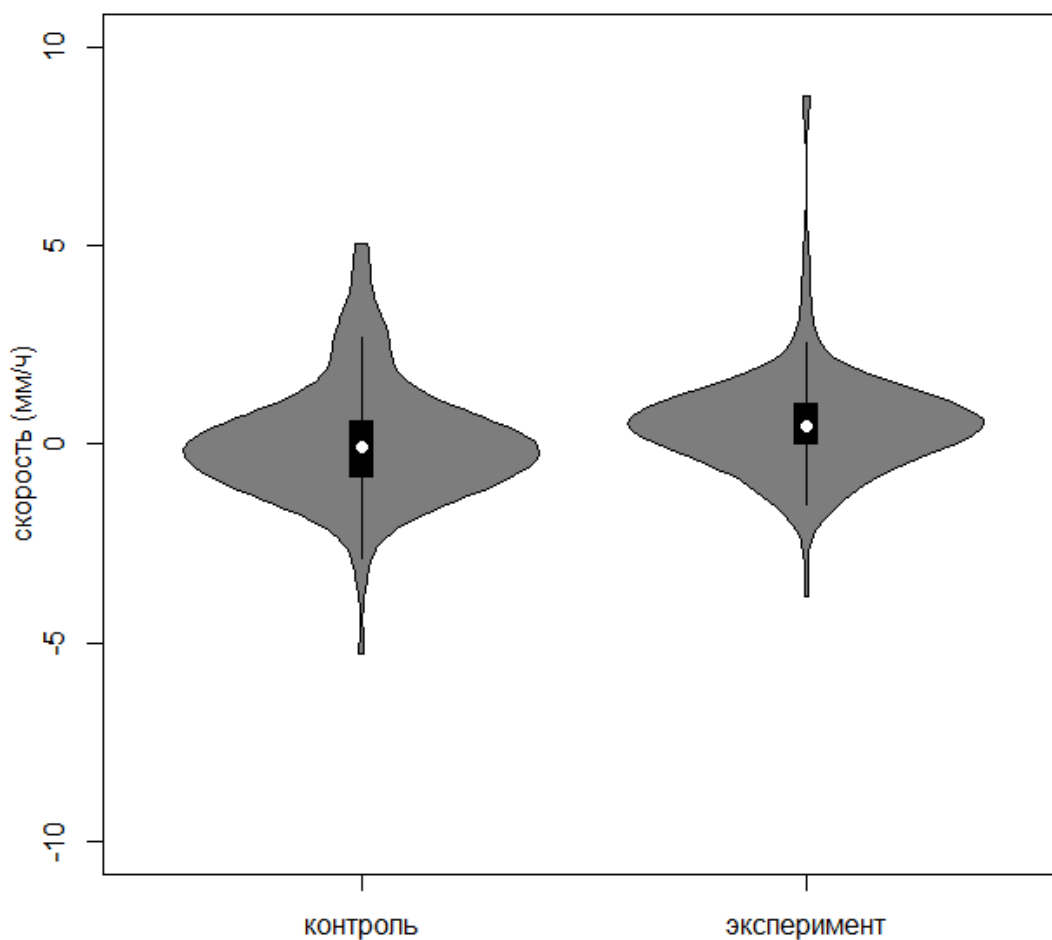
номер эксперимента	дата (время) первого фотографирования	дата (время) последнего фотографирования	вид ёмкости	Число фотографирований	Температура воды в ёмкости в момент проведения эксперимента
1	29.06 (14:25)	30.06 (9:25)	пластиковые чашки Петри (19 шт)	10	—
2	29.06 (14:25)	30.06 (9:25)	стеклянные чашки Петри (18 шт)	10	—
6	30.06 (23:20)	01.07 (18:30)	пластиковые чашки Петри (19 шт)	11	26,5°C
7	30.06 (23:20)	01.07 (18:30)	стеклянные чашки Петри (18 шт)	11	26,5°C
8	01.07 (12:30)	03.07 (9:15)	пластиковые контейнеры (12 шт)	36	24,8°C
9	01.07 (23:30)	03.07 (9:20)	пластиковые чашки Петри (40 шт)	15	26,2°C
10	03.07(10:24)	04.07(18:15)	пластиковые чашки Петри (40 шт)	23	27,5°C
11	03.07 (10:20)	04.07 (18:15)	пластиковые контейнеры (12 шт)	23	22°C

## Результаты

Средняя скорость перемещения к свету (здесь и далее — “скорость перемещения к свету” — проекция вектора перемещения к оси, перпендикулярной линии раздела света и тени, делённая на время) в экспериментальной — 1,56 мм/ч, в контрольной — 1,46 мм/ч. (рис. 3). Медиана скорости перемещения к свету в экспериментальной группе 1,28 мм/ч, в контрольной — 1.20 мм/ч, значимого различия между скоростями концов эксперимента и контроля не наблюдается (тест Вилкоксона,  $p$ -value = 0,21).

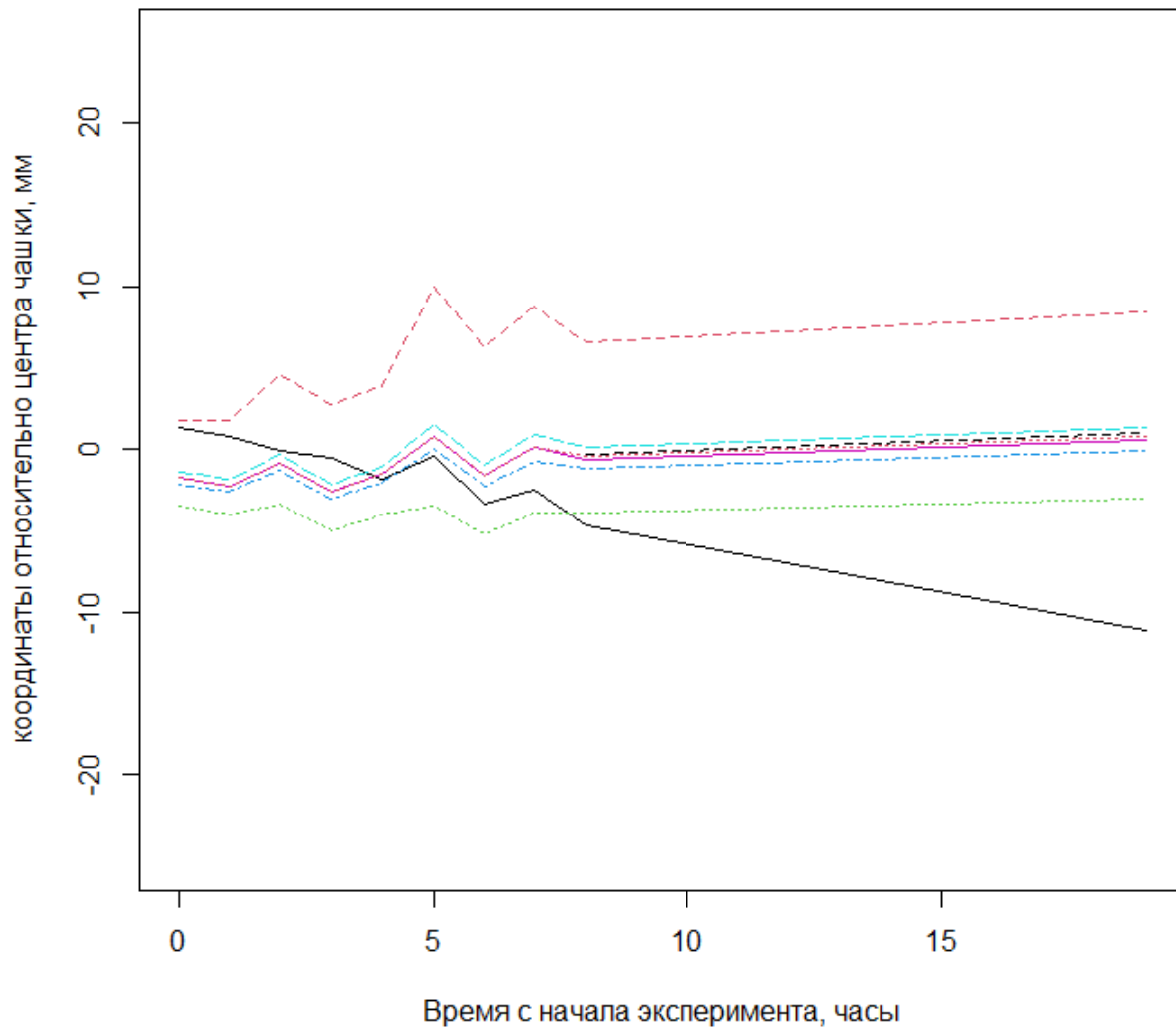
Для экспериментальной и контрольной групп 1, 2, 6 и 7 экспериментов были построены графики положения центра колонии по оси, перпендикулярной оси раздела света и тени (рис. 4-20).

**Рисунок 3. Скорость перемещения к свету каждого из концов колоний первого эксперимента.**



**Рисунок 4. Положения центров колоний контрольной группы второго эксперимента по оси перпендикулярной линии раздела света и тени.**

Для каждого эксперимента разными цветами и типами линий показаны разные колонии.



**Таблица 2. Общая информация о таксисе нефрагментировавшихся колоний в экспериментах с чашками Петри, в скобках указано количество колоний, которые прикрепилась не полностью.**

номер эксперимента	Экспериментальная группа			Контрольная группа		
	ползло к свету (шт.)	ползло от света (шт.)	направленно не ползло (шт)	ползло к свету (шт.)	ползло от света (шт.)	направленно не ползло (шт)
<b>1</b>	4	0	4 (2)	2	5	2
<b>2*</b>	0	1	7	1	6	1 (1)
<b>6</b>	0	1	4	0	2	3
<b>7</b>	4	0	1	3	0	2
<b>9</b>	10	15	2	12	7	8
<b>10</b>	9	0	11	4	6	10

\* — в контрольной группе наблюдаются синхронные зигзагообразные движения (рис. 4)

При анализе данных об общем направлении движений колоний (табл. 2) тестом пропорций (за “проходящий” результат было принято движение колоний к свету) наблюдается достоверное отличие между экспериментальной и контрольной группами ( $p\text{-value} = 0,005177$ ).

При анализе тестом Вилкоксона общего перемещения по оси, перпендикулярной линии раздела света и тени, в экспериментах 1, 2, 6 и 7 не наблюдается достоверного различия между экспериментом и контролем ( $p\text{-value} = 0,4233$ ).

**Таблица 3. Информация о развороте колоний 11 эксперимента.**

	Экспериментальная группа			Контрольная группа		
	ползло к свету	ползло от света	не ползло	ползло к свету	ползло от света	не ползло
<b>до переворота контейнера</b>	6	7	5	10	6	2
<b>из них развернулось</b>	0	1	-	0	0	-

В 11 эксперименте с контейнерами (табл. 3), в экспериментальных ёмкостях ни одна из колоний, изначально ползущих на свет, не сменила направление движения, когда контейнер был перевернут на 180° относительно козырька. Из колоний, изначально ползущих “от света” — одна поменяла направление.

В контрольной группе из 18 колоний ни одна не поменяла направление движения после переворота.

### **Обсуждение**

Из полученных результатов относительно направления перемещения колоний (табл. 2) следует, что в экспериментальных чашках колонии значимо чаще заканчивали свой путь на освещенной половине, чем на той же половине чашки в равномерно освещенном контроле, что не наблюдается в экспериментах 2, 6, 7 и 9 при анализе общего перемещения по оси. Но при статистическом анализе объединения всех экспериментов наблюдается различие между контрольной и экспериментальной группами. В прошлом году при анализе общего направления движения колоний наблюдался выраженный фототаксис во всех экспериментах, кроме восьмого, где колонии были взяты из пруда, а не из реки (Семутников, Гладун, 2023).

В даты проведения экспериментов в этом году среднесуточная температура была в среднем на 5,8°C выше, чем в эти же даты в прошлом году (Архив погоды, 2024), что могло привести к изменению таксиса мшанок. В этом году также наблюдался меньший разброс в скоростях передвижения колоний, тогда как в прошлом году

средняя скорость колоний из реки Шумаровка варьировалась от 0,3 до 3,3 мм/ч в разных экспериментах. Разница в скорости тоже могла быть вызвана повышенной температурой. Помимо этого, в этом году была выше скорость гибели колоний: эксперименты в этом и прошлом году длились в среднем одинаково, около 18-19 часов, но в прошлом году по окончании эксперимента большая часть колоний не погибала.

В 11 эксперименте не наблюдалось явной реакции на изменение направления света, что может свидетельствовать о том, что колонии не могут быстро, за 10 часов, поменять направление начатого движения. Возможно, через 22 часа некоторые колонии уже не могли продемонстрировать способность к развороту из-за условий проведения эксперимента. Это стоит учесть в будущем и, например, провести больше экспериментов с более короткими временными промежутками перед разворотом.

На основании наших результатов можно сделать следующие выводы:

- У мшанок *Cristatella mucedo* положительный фототаксис наблюдается слабее, чем в прошлом году: только в двух из шести проведённых экспериментов, тогда как в прошлом году он наблюдался в пяти экспериментах и не наблюдался в одном;
- Слабо проявленный фототаксис в этом году мог быть связан с более высокой по сравнению с прошлым годом температурой воды, которая в свою очередь приводила к высокой смертности колоний;
- При изменении направления света через 22 часа от начала эксперимента колонии почти не меняют направление движения.

## **Благодарности**

Мы выражаем благодарность Институту биологии внутренних вод имени И.Д. Папанина РАН и в частности Александру Витальевичу Крылову за предоставление возможности работать на территории стационара “Сунога”, Сергею Менделевичу Глаголеву и Екатерине Викторовне Елисеевой за организацию практики, Владимиру Михайловичу Гладуну за периодические консультации, а также Антону Артёмовичу Алдушину за помощь в подсчёте перемещений колоний.

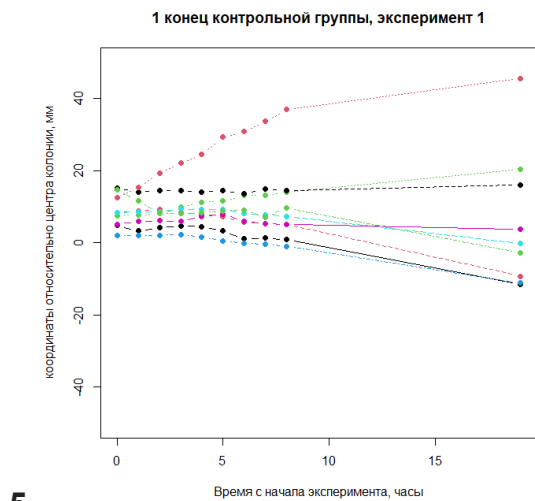
## Список литературы

1. Иванов А.В., Полянский Ю.Н., Стрелков А.А. Большой практикум по зоологии беспозвоночных. Т.3. Сипункулиды, Моллюски, Щупальцевые, Иглокожие. Учеб. пособие для биолог. спец. ун-тов. -3-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 1985.
2. Marcus E. Beobachtungen und Versuche an lebenden Meeresbryozoen //Zoologische Jahrbücher/Abteilung für Systematik, Ökologie und Geographie der Tiere. – 1926.
3. Ryland J. S. Physiology and ecology of marine bryozoans //Advances in marine biology. – 1977.
4. Bock P. E., Gordon D. P., 1831 Phylum Bryozoa Ehrenberg. In: Zhang, Z.-Q.(Ed.) Animal biodiversity: an outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness (Addenda 2013) // Zootaxa. – 2013.
5. R Core Team. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. 2024.
6. Schindelin J. et al. Fiji: an open-source platform for biological-image analysis //Nature methods. – 2012.
7. Гладун В., Семутников К. Влияние освещённости на скорость и направление движения колоний пресноводной мшанки *Cristatella mucedo* Cuvier, 1798 [Электронный ресурс]. 2023. URL: [https://bioclass.ru/wp-content/uploads/2024/11/Mshanki\\_2023.pdf](https://bioclass.ru/wp-content/uploads/2024/11/Mshanki_2023.pdf) (Дата обращения: 29.12.2024)
8. Архив погоды. Среднесуточная температура в Ярославле. [Электронный ресурс]. 2024. URL: <https://arhivpogodi.ru/arhiv/yaroslavl/2024/07/srednesutochnaya-temperatura> (Дата обращения: 29.12.2024)

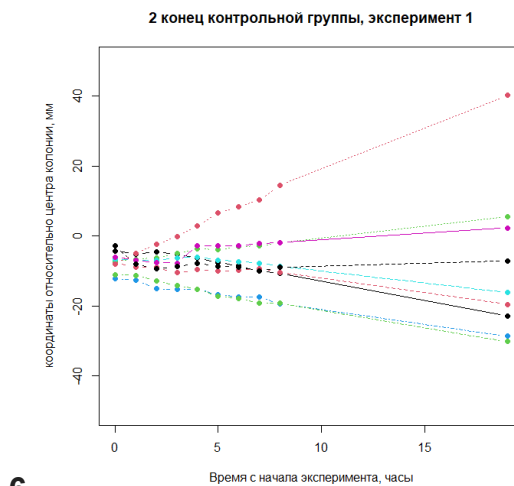
# Приложение

**Рисунки 5-20. Координаты центров колоний по оси, перпендикулярной оси раздела света и тени в зависимости от времени с начала эксперимента.**

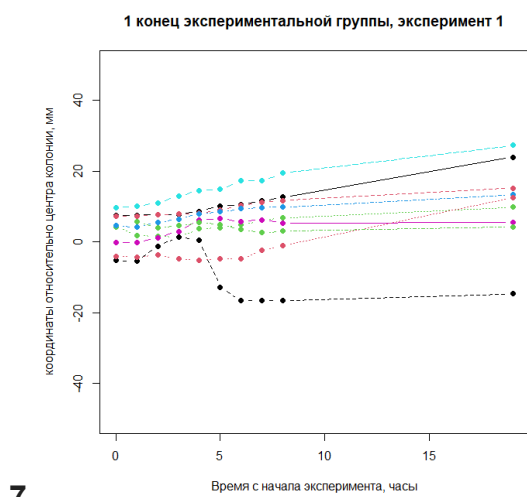
Для каждого эксперимента разными цветами показаны разные колонии.



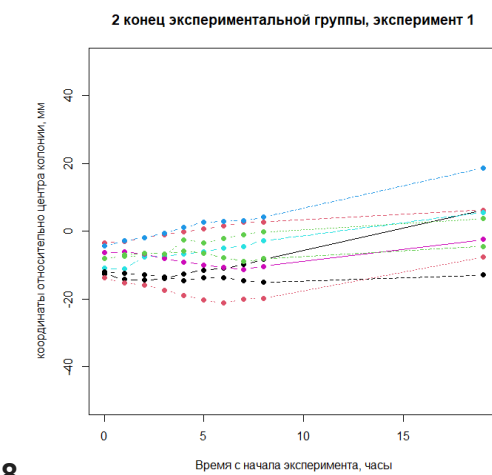
**5.**



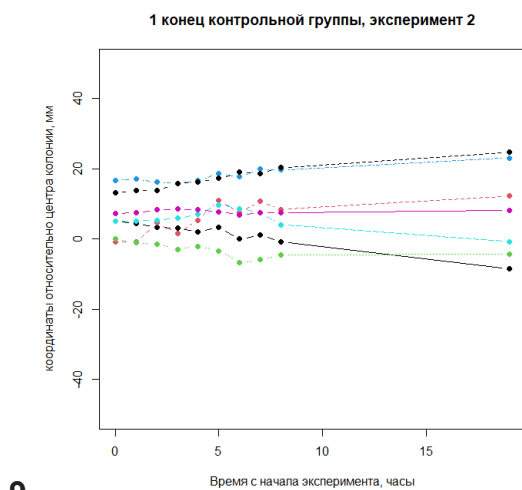
**6.**



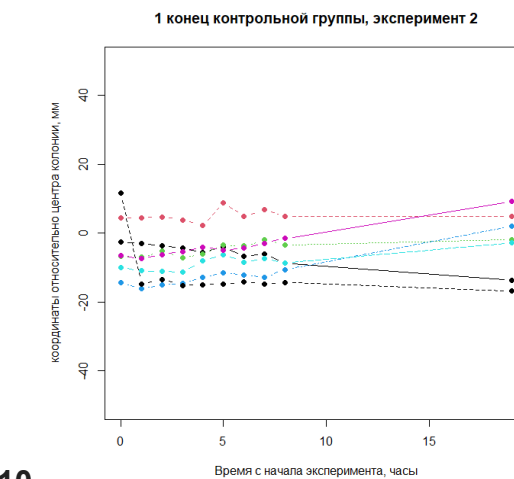
**7.**



**8.**

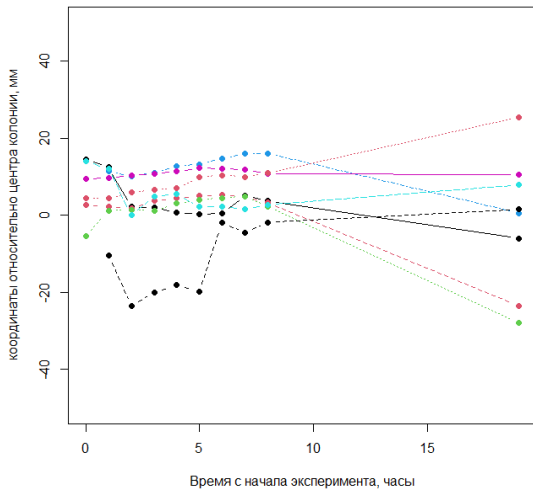


**9.**

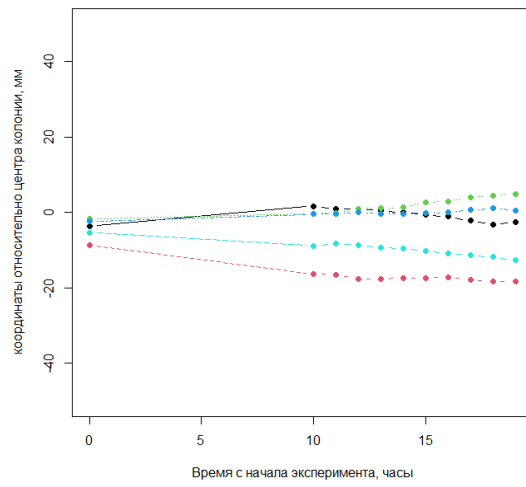


**10.**

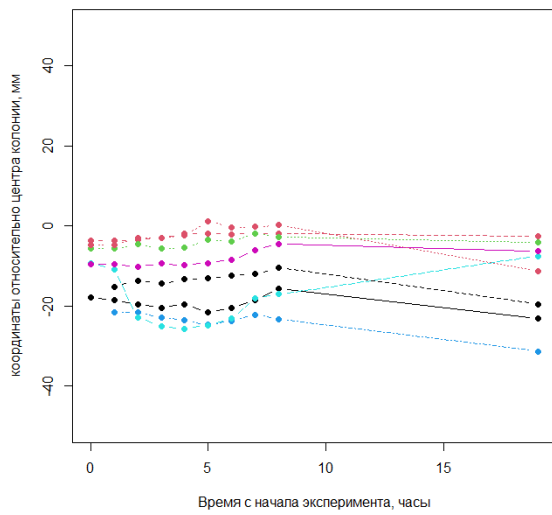
11. 1 конец экспериментальной группы, эксперимент 2



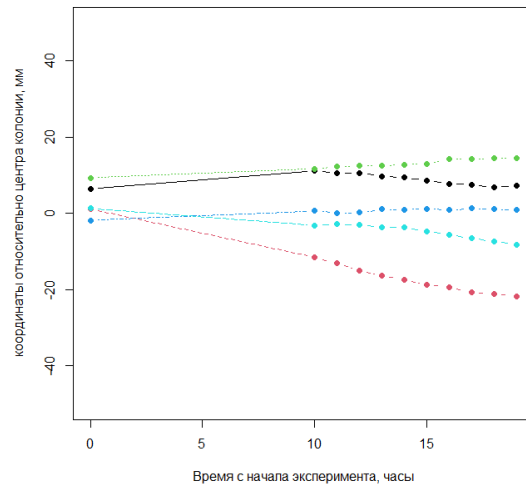
12. 2 конец контрольной группы, эксперимент 6



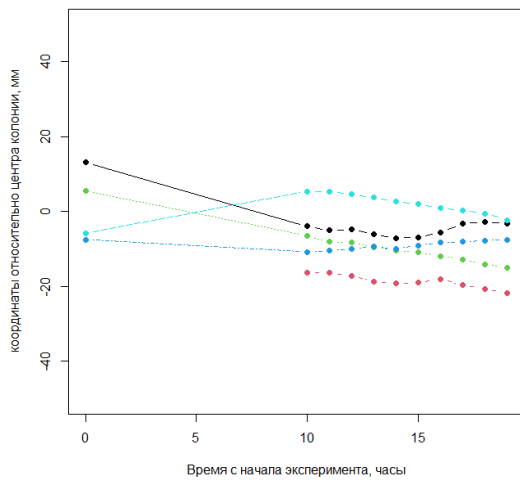
13. 2 конец экспериментальной группы, эксперимент 2



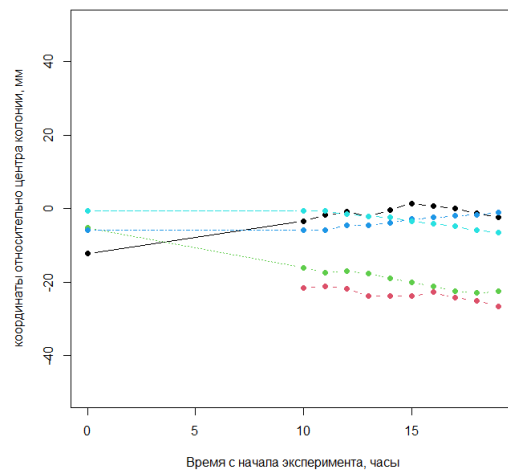
14. 1 конец контрольной группы, эксперимент 6



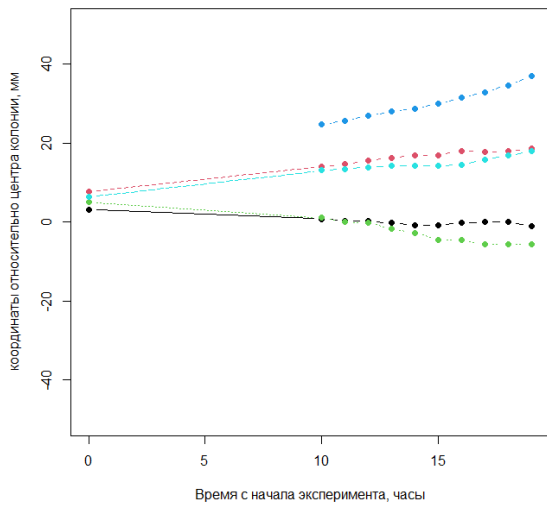
15. 1 конец экспериментальной группы, эксперимент 6



16. 2 конец экспериментальной группы, эксперимент 6

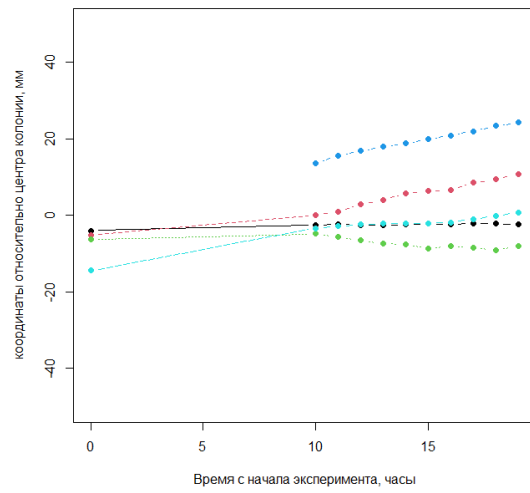


1 конец контрольной группы, эксперимент 7



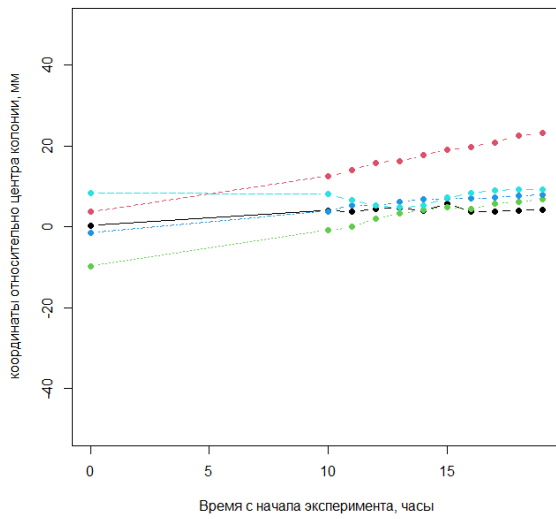
17.

2 конец контрольной группы, эксперимент 7



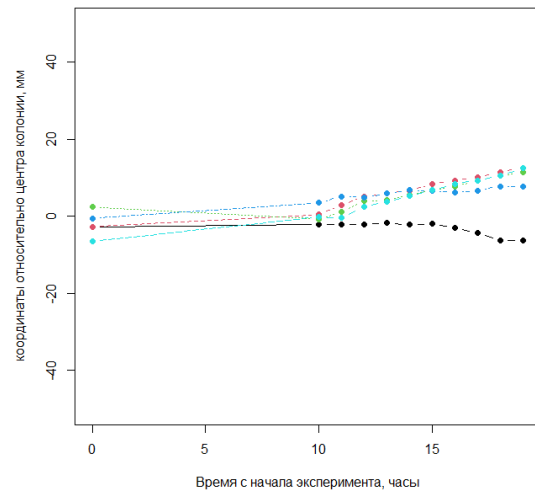
18.

1 конец экспериментальной группы, эксперимент 7



19.

2 конец экспериментальной группы, эксперимент 7



20.

**Рисунки 21-24. Скорости перемещения колоний разных экспериментов. Ширина показывает количество колоний, перемещавшихся с такой скоростью.**



21.



22.



23.



24.