

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт фундаментальной биологии и биотехнологии
Кафедра водных и наземных экосистем

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

_____ М. И. Гладышев

«_____» _____ 2019 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

060301.10- Биология

Оценка неоднородности горизонтального распределения популяции раков

Arctodiaptomus salinus в озере Шира

Научный руководитель _____ доцент, к.б.н. Зуев И В.
от института _____

Научный руководитель _____ снс, к.б.н. Толомеев А. П.
от предприятия _____

Выпускник _____ ББ13-03Б Непомнящих А .А.

Красноярск 2019

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	2
ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 Обзор литературы	6
1.1 Зоопланктон, как элемент трофической системы водоема	6
1.2 Неоднородность распределения зоопланктона.....	6
1.3 Горизонтальные и вертикальные миграции зоопланктона.....	7
1.4. Основные проблемы, связанные с изучением распределения зоопланктона.....	9
2 Материалы и методы	Ошибка! Закладка не определена.
2.1 Краткая характеристика озера Шира	Ошибка! Закладка не определена.
2.2 Сбор метеорологических и гидрофизических данных на озере Шира	Ошибка! Закладка не определена.
2.3 Отбор проб зоопланктона.....	Ошибка! Закладка не определена.
2.4 Методика определения численности и размерного состава раков A.salinus по сканированным цифровым изображениям проб в программах ImageJ и MicrobeJ	Ошибка! Закладка не определена.
2.5. Подробная схема сканирования и обработки цифровых изображений в программах ImageJ и MicrobeJ	Ошибка! Закладка не определена.
3 Результаты.....	Ошибка! Закладка не определена.
3.1 Метеорологические условия и вертикальные температурные профили озера Шира в период исследований	Ошибка! Закладка не определена.
3.2 Вертикальное распределение A.salinus в озере Шира и его связь с интенсивностью света	Ошибка! Закладка не определена.

3.3 Результаты определения численности и размеров раков <i>A.salinus</i> в озере Шира методом компьютерного анализа.....	Ошибка! Закладка не определенна.
ВЫВОДЫ.....	12
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	13
ПРИЛОЖЕНИЕ А	16
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	19

ВВЕДЕНИЕ

Неоднородности горизонтального распределения озерного зоопланктона возникают в результате действия абиотических и биотических факторов (Pinel-Alloul, 1995, Rinkeetal, 2009). Наиболее важным абиотическим фактором являются течения, вызванные ветром. К биотическим факторам относятся пресс хищника и неравномерность распределение пищевых ресурсов (фитопланктона). Для озера Шира наиболее значимым фактором, формирующим горизонтальные неоднородности зоопланктона, очевидно, являются течения, поскольку озеро находится в степном ландшафте и постоянно подвержено ветровому воздействию. С другой стороны, рассматриваемый доминирующий вид *Arctodiaptomus salinus* является медленно растущим видом каланоидных копепод, который не испытывает пресса со стороны хищника в озере (в озере отсутствуют рыбы-планктофаги и хищный зоопланктон). Следовательно, маловероятно, что биотические факторы в озере Шира способны играть существенную роль в гетерогенности горизонтального распределения раков.

Актуальность исследований. Изучение неоднородностей горизонтального распределения зоопланктона важно для понимания трофических взаимодействий внутри планктонного сообщества. В частности, гетерогенность горизонтального распределения предполагает регулярное возникновение зон с низкой численностью зоопланктона, следовательно, в этих зонах фитопланктон слабее контролируется раками. Это может иметь значение для оценки степени эффективности топ-даун контроля микроводорослей зоопланктоном в трофическом каскаде (Levesqueetal., 2010). С другой стороны повышенное содержание зоопланктона (для рыбных озер) способно привлекать рыб и других хищников, что немало важно для промысловой деятельности человека.

Эффективность функционирования трофической сети водоема определяется «полнотой» взаимодействия отдельных трофических звеньев.

В паре фитопланктон-зоопланктон поток вещества и энергии зависит от их взаимного пространственного распределения. Наблюдаемая в озерах гетерогенность распределения зоопланктона может снижать эффективность трофических взаимодействий между этими звенями, что приводит к ослаблению контроля фитопланктона со стороны зоопланктона в направлении топ-даун. В литературе нет описаний конкретных механизмов возникновения гетерогенного распределения зоопланктона, что не позволяет формализовать данные процессы в количественных показателях.

Для решения проблемы мы предполагаем рассмотреть гипотезу формирования гетерогенности зоопланктона как сочетание ветровых течений и малоамплитудных суточных миграций зоопланктеров в озере.

Наша задача заключалась в сборе данных, касающихся горизонтального и вертикального распределения популяции раков в озере, а также оценки метеоусловий и гидрофизических параметров озера во время летнего полевого сезона 2017.

Таким образом, цель работы состояла в изучении неоднородностей горизонтального распределения популяции раков *Arctodiaptomus salinus* в озере Шира.

Реализация цели складывалась из решения следующих задач:

- исследовать зависимость численности копепода *A. salinus* в поверхностном слое озера от интенсивности солнечной радиации
- изучить гетерогенность распределения численности и вертикальной структуры популяции *A. salinus* на трех станциях в озере Шира (северная часть, центр и южная часть)
- на основе сканированных цифровых изображений раков *A. salinus* в отобранных пробах оценить различия размерной структуры популяции на исследуемых станциях

1 Обзор литературы

1.1 Зоопланктон, как элемент трофической системы водоема

Зоопланктон интенсивно изучается с начала существования гидробиологии как особой биологической дисциплины. Организмы, относящиеся к планктону, занимают разные трофические уровни: продуценты, первичные и вторичные консументы. К продуцентам относится фитопланктон, к первичным консументам - зоопланктон (фито- и детритофаги), к вторичным - планктонные хищники. Сообщество зоопланктона, следовательно, включает животных, относящихся к двум трофическим уровням. Значение зоопланктона в общем потоке энергии в водоемах очень велико, особенно в озерах, где до 96 % от энергии, ассимилированной всеми беспозвоночными животными, приходится на долю обитателей толщи воды. Несколько меньше их роль в экосистемах водохранилищ (от 15 до 67 %). Эти цифры позволяют судить, насколько важно для решения теоретических и практических вопросов гидробиологии оценить количественно продукцию зоопланктона, рассматривая его как единую систему (Иванова, 1985).

1.2 Неоднородность распределения зоопланктона

Абиотические и биотические факторы сильно влияют на неоднородное распределение зоопланктона, что, следовательно, формирует его пятнистость в озере. (Folti Burns 1999).

Неоднородности распределения организмов многообразны; так, метапопуляция экологии показала, что пространственная гетерогенность распределения планктона важна для сохранения популяций видов и их динамики (Хански 1981; Bascompte и Sole' 1995), создавая феномен пятнистости - ключевым фактором которого является сосуществование и

поддержание высокого видового разнообразия. Патч-распределение организмов-жертв, так же, влияет на интенсивность и динамику хищника-жертвы и улучшает продуктивность экосистем (Rovinskyetal., 1997; Brentnalli другие. 2003).

Доминирующие факторы, объясняющие пространственные вариации, приводятся в действие ветровыми циркуляциями, температурой воды, морфологией бассейна (Pothovenetal., 2004) или местными эвтрофикациями, например, речными притоками. Такие факторы, могут быть разделены в двух разных режимах генерации патча (Georgeand Heaney 1978); это факторы, вызывающие пространственные изменения темпов прироста или уменьшения численности планктона, например, локальные различия в доступности ресурсов, хищничество, давление или температура, а также факторов, вызывающих пространственное перераспределение планктона. (Patalas и Salki 1992; Pinel-Allouletal. 1999)

Вертикальные распределения организмов сильно контролируются поведенческими признаками, т. е. биотическими процессами, такими как, суточная вертикальная миграция зоопланктона (Massonetal., 2001). Но и помимо этих биотических контролей факторов, абиотические процессы также действуют на одновременно возникающие вертикальные схемы распределения, например, ветровые вертикальные перемешивание (Websterand Hutchinson 1994; Serraetal. 2007).

1.3 Горизонтальные и вертикальные миграции зоопланктона

Зоопланктон обычно пассивно переносится течениями, однако, способен совершать вертикальные и горизонтальные миграции, во время которых животные перемещаются на сотни, а иногда и тысячи метров. Размах и характер этих перемещений изменяются в зависимости от глубины, освещенности (солнечной и даже лунной), температуры, сезона года, вида и физиологического состояния животных, их пола и т. д. При суточных

миграциях периодичность перемещений совпадает со сменой дня и ночи. Также имеются сведения о горизонтальных миграциях. В большинстве мелких озер умеренной зоны обширные участки прибрежий поверхности дна покрыты водной растительностью, способной обеспечить пространственное убежище от пелагических хищников для зоопланктона, который совершает горизонтальные миграции из зоны открытой воды в заросли. Примеры горизонтальных миграций, как прямых (в заросли макрофитов), так и обратных, а также явление «избегания берега» рассматриваются в недавних обзорах (Burksetal., 2002, Семенченко, 2006). В умеренной зоне зоопланктон совершает преимущественно горизонтальные миграции в водную растительность, используя ее как рефугиум.

Планктон становится более обильным в тех местах, где течение замедляется и проточная вода превращается в стоячую, - в озерах, водохранилищах, заводях или старицах (Эрхард, Сежен, 1984).

Биологические выгоды, которые животные получают от вертикальных и горизонтальных миграций, следующие (Виноградов, 1968):

Зашита от «зрительных» планктофагов (Кожов, 1947; Николаев, 1952; Мантейфель, 1960, 1961).

- сохранение и расширение ареала благодаря попаданию в слои с течениями разной скорости и направления (Mackintosh, 1937; Hardy, 1953).
- уход от коротковолновых (ультрафиолетовых) лучей.
- избегание неблагоприятных условий в поверхностных слоях, особенно зимой, когда эти слои лишены пищи и уход на глубины, где эти виды не питаются и живут за счет запасов собственного жира и спасаются от выедания поверхностными планктофагами (Conover, 1962, 1964).
- обмен генетическим материалом при перемешивании различных частей популяций, приобретавших благодаря пространственной изоляции (разобщению) некоторые генетические различия (David, 1961).

– в нормальнослоистой воде вертикальные миграции не только не приводят к дополнительной трате энергии, но и дают энергетическую выгоду мигрантам (McLaren, 1963). Именно энергетический выигрыш, получаемый при вертикальных миграциях, служит адаптивной основой их существования и широкого распространения.

Приходится признать (Грезе, 1969), что применять универсальный принцип объяснения всего многообразия вертикальных и горизонтальных миграций не представляется возможным; в разных случаях различные причины могут иметь решающую роль в определении биологической целесообразности миграций. Таким образом, сопряженность вертикальных и горизонтальных перестроек, их нерегулярность, а также отсутствие определенных реакций зоопланктона на изменения освещенности служат, хорошим подтверждением высказанной М.М. Камшиловым мысли, что «в результате богатства связей между организмами разных видов и экологических групп комплексы организмов выступают как саморегулирующаяся система» (Камшилов, 1961, с.125).

1.4. Основные проблемы, связанные с изучением распределения зоопланктона

Основная проблема, связанная с изучением распределения зоопланктона, часто включает использование минутных пространственных и временных масштабов для измерения средней динамики зоопланктона.

Например, путем выборки только 1 или 2 станций в течение короткого периода времени, Dirnerger и Thredlkeld (1986) рисковали ошибочно определить общие движущие силы пространственной динамики зоопланктона в небольшом озере. Аналогичным образом, Зурек и Бука (2004) попытались проследить горизонтальное распределение движения фитопланктона и зоопланктона в сторону открытых вод с использованием только 2 литоральных разрезов более 1 месяца. Сравнительно, Malone и Mc

Queen (1983) доказали, что горизонтальные распределения зоопланктона были действительно неоднородными и что для характеристики необходимо несколько станций зоопланктона, но частота выборки еще не определены. Из-за множественных потоков, вызванных ветром, рассеивание зоопланктона, плохо изучено и требуют дальнейшего изучения. На пассивный перенос зоопланктона на поверхность воды особенно влияют ветровые токи, действующие на поверхность воды; особенно в термически стратифицированных озерах, где имеется отличный поверхностный слой смещивания (Georgeand Edwards 1976; Gorhamand Boyce 1989; Ранд и Хинч 1998; Ravensetal. 2000; Naithanietal. 2003). Несколько исследований показали, что разгон зоопланктона пассивным транспортом привел к корреляции между неоднородностью зоопланктона и распространенностью, где более высокие уровни (Dirnegerand Thredlkeld 1986, Primoetal., 2009). В частности, Vanschoen winkeletal. (2008) предполагал, что горизонтальные агрегации зоопланктона, найденные в 36 небольших временных бассейнах Южной Африки в 2006 году, были связаны с вертикальными восходящими потоками и кратковременными порывами, характерные для местных ветровых полей в течение лета. Тем не менее, Зурек и Бука (2004) сообщали, что ветры столь же слабые, как 4-5 м / с, вызывали небольшую отдачу. Физические свойства малых и больших озер влияют на степень ветрового пространственного распределения популяций зоопланктона (Gorhamand Boyce 1989, Naithanietal., 2003). Распределение общего планктона по ветру осуществляется через поверхностные воды, течения, которые направляются вниз, и тем самым вытягивают ниже находящиеся слои поверхностных вод (Naithanietal., 2003). Планктоны повторно распределяются в толще воды путем апвеллинга более глубокий слой воды, который питается потоками поверхностных вод перемещает водные массы, нисходящий поток, как и апвеллинг может влиять на горизонтальные, вертикальные и пространственные структуры организмов в водном столбе (Naithani и другие. 2003). Ветровые потоки переносят планктон, питательные вещества и

растворенный кислород по всей толще воды и вызывает смещивание всего состава воды. Большие водоемы (104-106 га) имеют большую поверхностную площадь для продувания ветра, поэтому небольшие озера (10-100 га) будут иметь пониженную чувствительность к дующему ветру, по сравнению с более крупными озерами (Mazumderetal., 1990; Naithanietal., 2003).

ВЫВОДЫ

1. В результате полевых исследований вертикального распределения *A.salinus* было показано, что численность раков в дневное время в поверхностном слое (0-0.5 м) достоверно ниже, чем на средних горизонтах эпилимниона (4.0 м) и составляет около 13 % по всем размерным группам раков. Следовательно, ветровой сгон поверхностного слоя может приводить к образованию горизонтальных «разреженных» участков численности зоопланктона в озере
2. Относительная доля зоопланктона в поверхностном слое связана с интенсивностью солнечной радиации. Она уменьшается в среднем с 20 % до 5 % при возрастании солнечной радиации с 530 до 768 Вт/м².
3. Соотношение численностей раков *A.salinus* в эпи- и гиполимнионе на выбранных станциях указывает на их гетерогенное горизонтальное распределение в озере и возможное вихревое перемещение скоплений раков с замыканием цикла порядка двух суток при скорости ветра 1-2 м/с.
4. Анализ размерной структуры показал неизбирательную миграцию раков из поверхностного слоя 0-0.5 м в низлежащие слои.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Абакумова В. А. Руководство к методам гидробиологического анализа поверхностных вод и донных отложений / Л.: Гидрометеоиздат. 1983. 240 с.
2. Андроникова И.Н. Структурно-функциональная организация зоопланктона озерных систем. СПб.: Наука, 1996 190 с.
3. Богоров В. Г. Особенности суточной вертикальной миграции зоопланктона в полярных морях // Тр. Ин-та океанологии АН СССР. 1946. Т. 1. С. 151-158.
4. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. – М.: Техносфера, 2005. – 1072 с.
5. Киселев И. А. Планктон морей и континентальных водоемов / Л.: Наука 1969. Т. 1. 657 с.
6. Киселев И. А. Планктон морей и континентальных водоемов. Распределение, сезонная динамика, питание и значение / Л.: Наука. 1980. 440 с.
7. Курлов М. Т. Курортоз. Шира. // Томск, Кр. знамя. 1927. С. 33.
8. Кусковский В. С., Кривошеев А. С. Минеральные озера Сибири / Новосибирск, Наука. 1989. 200 с.
9. Левковская Л.А. (1983) Зоопланктон некоторых озёр западного участка БАМ. В: Лимнология водоёмов западного участка БАМ. Новосибирск: Наука, с. 93-102.
10. Отчет о НИР по программе ФЦП “Интеграция” «Экспертиза, мониторинг, прогноз качества воды и лечебных свойств уникального сибирского оз. Шира» // Красноярск, рег. № 73, № гос. регистрации 01.9.80 002279. 2000. С. 318.

11. «Природный комплекс и биоразнообразие участка «Озеро Шира» заповедник «Хакасский» » / Монография. Коллектив авторов. Под редакцией Непомнящего В. В. Абакан. Хакасское книжное издательство. 2011. С. 420.
12. Платонова, Л. В. Фауна и продуктивность озера Шира / Л. В. Платонова // Труды томского Государственного университета. – 1959. – С. 65-72.
13. Рудяков Ю. А. Скорость пассивного погружения *Leptodorakindti* в связи с явлением суточных вертикальных миграций // Биолог и внутр. вод: Информ. бюл. 1978. Т. 38. С. 56-58.
14. Толомеев А.П., Задереев Е.С. 2003. Действие солнечной радиации на вертикальные миграции *Arctodiaptomus ssalinus* и *Brahionus plicatilis* в озере Шира. Биология внутренних вод. (2): 74-79
15. Толомеев А. П., Задереев Е.С, Тонкое стратифицированное распределение *Gammarus lacustris sars* (crustacea: amphipoda) в пелагиали 126 меромиктического озера Шира (Россия, Хакасия) // Доклады Академии Наук. 2006. Т. 411. № 4. С. 549-552.
16. Anufriieva E. V., Shadrin N. V. Factors determining the average body size of geographically separated *Arctodiaptomus salinus* (Daday, 1885) populations. Zoological Research 2014. V. 35 № 2. P. 132–141.
17. Dawidowicz P., Pijanowska J., Ciechomski K. Vertical migration of *Chaoborus* larvae is induced by the presence of fish // Limnology and Oceanography. 1990. V. 35 №7. P. 1631-1637.
18. Dodson S. Predicting diel vertical migration of zooplankton // Limnol. Oceanogr. 1990. P. 1195–1201
19. Farrell A. M., Hodgson J. R. Zooplankton diel vertical migrations in lakes of contrasting food webs // BIOS. 2012. P.12-16.
20. Harris R., Wiebe P., Lenz J., Skjoldal H. R., Huntley M. Zooplankton methodology manual / Academic Press. 2000.

21. Jiménez-Melero R., Ramírez J. M., Guerrero F. Seasonal variation in the population growth rate of a dominant zooplankton: what determines its population dynamics? // Freshwater Biology. 2013. V. 58. № 6.P. 1221-1233
22. Lampert W., Grey J. Exploitation of a deep-water algal maximum by Daphnia: a stable-isotope tracer study // Hydrobiologia. 2003. V. 171. P. 95-101.
23. Levesque S. Meso-scale distributions of lake zooplankton reveal spatially and temporally varying trophic cascades / Levesque S., Beisner B.E., Peres-Neto P.R. // Journal of Plankton Research.-2010.-V.32.-I.10.- P. 1369–1384.
24. Masson S., Pinel-Alloul B., Méthot G., Richard N. Comparison of nets and pump sampling gears to assess zooplankton vertical distribution in stratified lakes // J. Plankton Res. 2004. V. 26 №10. P. 1199-1206.
25. Pinel-Alloul B. Spatial heterogeneity as a multiscale characteristic of zooplankton community.// Hydrobiologia.-1995.-V.300, 301.-P.17-42.
26. Ruttner-Kolisko A. (1977) Suggestion for biomass calculation of planktonic rotifers. Arch. Hydrobiol. Ergeb. Limnol. 8: 71-78.
27. Rinke K. Lake-wide distributions of temperature, zooplankton, and fish in the pelagic zone of a large lake./ Karsten Rinke, Andrea M. R. Huber, Sebastian Kempke, Magdalena Eder, Thomas Wolf, Wolfgang N. Probst, Karl-Otto Rothhaupt // Limnology and Oceanography.-2009.- V.54.-P. 1306–1322
28. Stearns D. E., Forward R. B. Copepod photobehavior in a simulated light environment and its relation to nocturnal vertical migration // Mar. Biol. 1984.V. 82. № 1. P. 91-100.
29. Wilhelm F. M., Hudson J. J., Schindler D. W. Contribution of Gammarus lacustris to phosphorus recycling in a fishless alpine lake // Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences. 1999. V. 56. № 9. P. 1679-1686
30. Yemelyanova A. Y., TemerovaT. A., Degermendzhy A. G. Distribution of Gammarus lacustris Sars (Amphipoda, Gammaridae) in Lake Shira (Khakasia, Siberia) and laboratory study of its growth characteristics //Aquatic Ecology. 2002. V. 36. № 2. P. 245-256

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Порядок обработки изображений сканированных проб зоопланктона в программах ImageJ 1.49v и MicrobeJ 5.12d.

Подготовка изображения

1. Разрезание исходного изображения сканированной пробы на более мелкие участки и объединение их в stack:

Image / Stacks / Tools / Montage to Stack... / Stack Maker [1,3,0]

Image/Stacks / Stack to Images

Image / Crop(Ctrl+Shift+X)

Image / Stacks / Tools / Montage to Stack... / Stack Maker [4,1,0]

Image / Stacks / Images to Stack

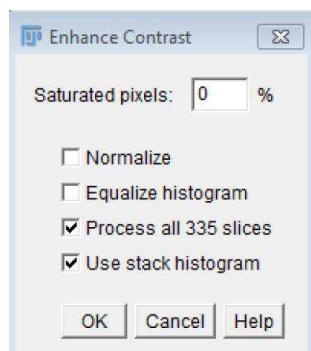
Image / Stacks / Tools / Concatenate...

2. Вычитание фона

Process / Subtract Background...[50]

3. Поднимаем контрастность изображения

Process /EnhanceContrast...



4. Оцениваем фон с помощью

Analyze / PlotProfile

5. Вычитаем остатки фона

Process / Math / Subtract... [~40]

6. Убираем шум (outliers)

Process / Noise / Remove Outliers...[radius=2, threshold=1, bright, dark]

7. Переводим стек в 8-bit

Image / Type / 8-bit

II. Обработка в MicrobeJ

1. Открыть файл

Записать название эксперимента и т.д.

2. Заданы две морфологии:

а) скопления

Area [p^2] = 3000-max

Length [p] = 150-max

б) одиночные рачки

Area [p^2] = 0-max

Length [p] = 20- 150-max

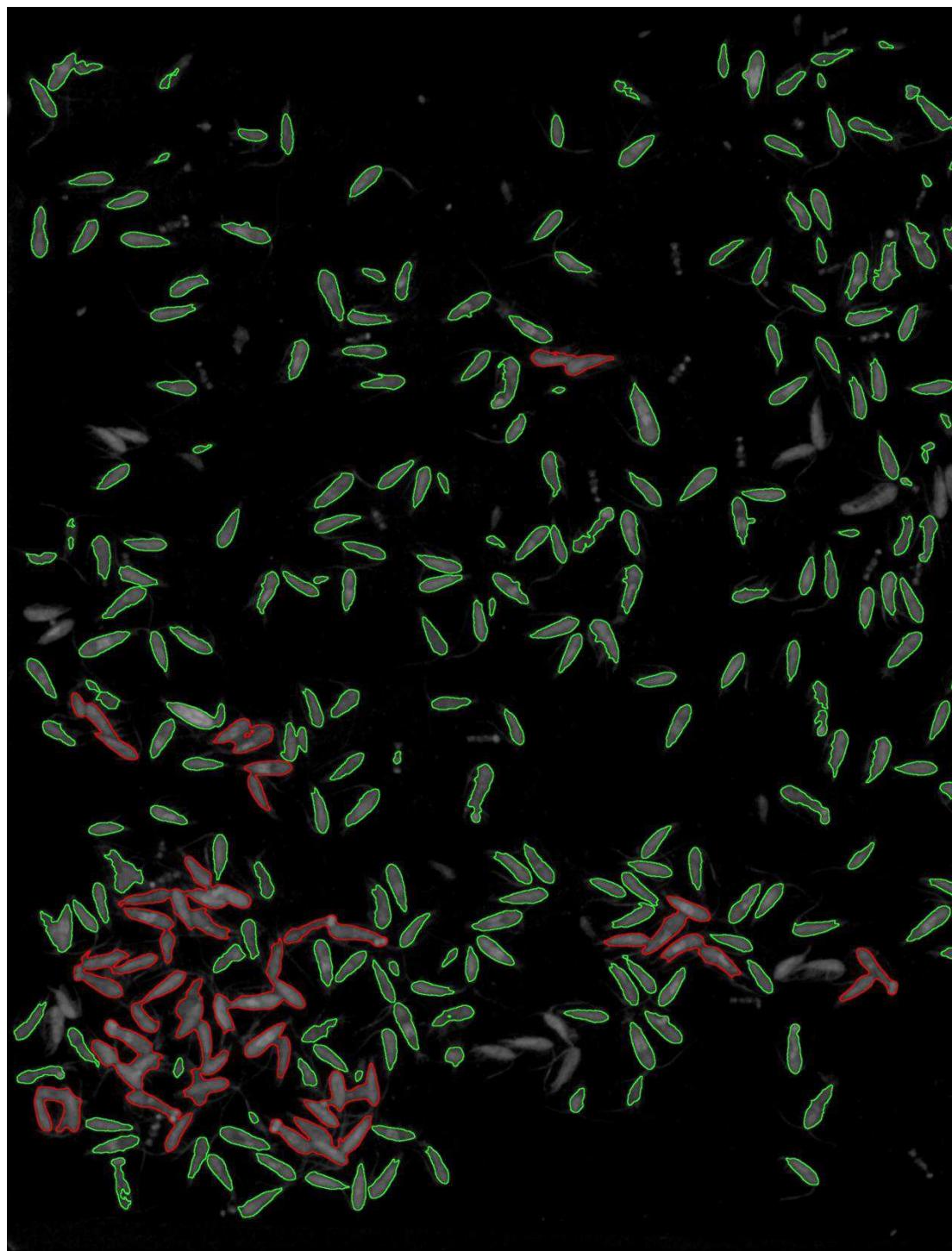
Одиночные рачки – простой счет. Обработка скоплений - из общей площади скоплений убрать 30 % площади (пустые участки), остальное поделить на среднюю площадь одного рачка – получится количество рачков в скоплении. Средняя площадь рачка в сканированном изображении – 1175 pix.

Стек обрабатывается не полностью, поскольку процесс слишком длительный. Делается выборка из 10 слайдов в стеке случайным образом: 1) 13,34,1,47,50,20,53,49,4,7; 2) 11,20,39,2,12,22,37,13,15,29

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Пример обработки одного слайда в стеке

Красным контуром обозначены скопления, зеленым – найденные одиночные рачки.



Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
Институт фундаментальной биологии и биотехнологии
Кафедра водных и наземных экосистем

УТВЕРЖДАЮ

/ Заведующий кафедрой

 М. И. Гладышев

«28 » июня 2019 г.

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

060301.10- Биология

Оценка неоднородности горизонтального распределения популяции раков
Arctodiaptomus salinus в озере Шира

Научный руководитель
от института


доцент, к.б.н.

Зуев И. В.

Научный руководитель
от предприятия


снс, к.б.н.

Толомеев А. П.

Выпускник



ББ15-03Б

Непомнящих А. А.

Красноярск 2019