

**КАЗАНСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**Л.Л.Фролова, А.М.Хусаинов**

**Построение и сравнение 3D моделей белков  
диатомовых водорослей на примере  
*rbcL Caloneis amphisbaena* и *rbcL Gyrosigma acuminatum***

**Учебное пособие  
по курсу «Биоинформатика»**

**Казань**

**2017**

УДК 577.2  
ББК 28  
Ф37

Печатается по решению учебно-методической комиссии  
ИФМиБ КФУ

**Составители:**

кандидат технических наук  
доцент кафедры генетики **Л.Л. Фролова**  
аспирант кафедры генетики **А.М.Хусаинов**

**Рецензент**

доктор биологических наук  
профессор кафедры микробиологии КГУ М.Р.Шарипова

Ф37

**Построение и сравнение 3D моделей белков диатомовых водорослей на примере *gbcL Caloneis amphibia* и *gbcL Gyrodinium aureolum*: учебное пособие по курсу «Биоинформатика» / авт.-сост. Л.Л.Фролова, А.М.Хусаинов. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2017. – 37 с.**

Учебное пособие предназначено для обучения работе с аминокислотными последовательностями в компьютерных программах по построению и сравнению 3D моделей белков на примере *gbcL* диатомовых водорослей.

Учебное пособие предназначено для бакалавров, магистров и аспирантов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Биология».

УДК 577.2  
ББК 28

©Фролова Л.Л., Хусаинов А.М., 2017

©Казанский федеральный университет, 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

|                                                                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ВВЕДЕНИЕ .....                                                                                                                                | 4  |
| ГЛАВА 1. Диатомовые водоросли .....                                                                                                           | 5  |
| ГЛАВА 2. Описание гена и продукта гена <i>rbcL</i> .....                                                                                      | 12 |
| ГЛАВА 3. Поиск аминокислотных последовательностей <i>rbcL Caloneis<br/>amphisbaena</i> и <i>rbcL Gyrosigma acuminatum</i> .....               | 14 |
| ГЛАВА 4. Парное выравнивание аминокислотных последовательностей <i>rbcL<br/>Caloneis amphisbaena</i> и <i>rbcL Gyrosigma acuminatum</i> ..... | 17 |
| ГЛАВА 5. Построение 3D белков <i>rbcL Caloneis amphisbaena</i> и <i>rbcL Gyrosigma<br/>acuminatum</i> .....                                   | 19 |
| ГЛАВА 6. Визуализация 3D моделей <i>rbcL Caloneis_amphisbaena</i> и<br><i>rbcL Gyrosigma acuminatum</i> .....                                 | 24 |
| ГЛАВА 7. Сравнение 3D моделей <i>rbcL Caloneis amphisbaena</i> и <i>rbcL Gyrosigma<br/>acuminatum</i> .....                                   | 31 |
| ЗАДАНИЯ .....                                                                                                                                 | 36 |
| СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ .....                                                                                                                       | 37 |

## ВВЕДЕНИЕ

Моделирование третичной (пространственной) структуры белка — одна из наиболее важных задач биоинформатики. Со времен возникновения биохимии, ученым удалось установить множество закономерностей, благодаря которым стало возможным вычислять строение и структуру белков. Однако химические и биологические свойства белков изучаются эмпирически (путем проведения лабораторных экспериментов). До сих пор, четкая корреляция между строением белковых молекул и их свойствами не выявлена. 3D-модели в будущем помогут эффективно сопоставлять теоретические и эмпирические данные, чтобы создавать искусственные белки с необходимым набором свойств.

В учебном пособии приведены основы построения и сравнения 3D моделей белков на примере *rbcL Caloneis amphisbaena* и *rbcL Gyrosigma acuminatum*.

Показаны поиск и описание аннотации белков в базе данных аминокислотных последовательностей GenPept на сайте NCBI, парное выравнивание аминокислотных последовательностей *rbcL Caloneis amphisbaena* и *rbcL Gyrosigma acuminatum* в программах Emboss Water и Needle, подробно описано построение 3D моделей в программе SWISS-MODEL, визуализация 3D моделей диатомовых водорослей и их сравнение приведены в программе Jalview.

Учебное пособие предназначено для бакалавров, магистров и аспирантов высших учебных заведений, обучающихся по направлению «Биология».

## ГЛАВА 1. Диатомовые водоросли

Диатомовые водоросли, или диатомеи (лат. *Diatomeae*), или бациллариофициевые водоросли (лат. *Bacillariophyceae*) — группа одноклеточных и колониальных водорослей, отличающаяся наличием у клеток своеобразного «панциря», состоящего из диоксида кремния. Всегда одноклеточны, но встречаются колониальные формы. Обычно планктонные или перифитонные организмы, морские и пресноводные.

Название *Diatomeae* происходит от латинских слов «di» — два и «toma» — делить, т. е. разделенные на два. Это связано со своеобразным строением их оболочки, которая состоит из двух половин, вкладывающихся одна в другую.

Диатомеи широко распространены во всевозможных биотопах. Они живут в океанах, морях, солоноватых и различных пресных водоёмах: стоячих (озёрах, прудах, болотах) и текучих (реках, ручьях, оросительных каналах). Они распространены в почве, их выделяют из образцов воздуха, они образуют богатые сообщества во льдах Арктики и Антарктики. Такое широкое распространение диатомовых обусловлено их пластичностью по отношению к различным экологическим факторам и существованием видов, узко приспособленных к экстремальным значениям этих факторов.

Диатомовые в водных экосистемах доминируют над другими микроскопическими водорослями круглый год. Они обильны как в планктоне, так и в перифитоне, и бентосе. В планктоне морей и океанов преобладают центрические диатомеи, хотя к ним примешиваются и некоторые пеннатные. В планктоне пресных водоёмов, наоборот, преобладают пеннатные. Бентосные ценозы также отличаются большим разнообразием и количеством диатомовых, которые обычно обитают на глубине не более 50 м. Жизнь бентосных диатомей обязательно связана с субстратом: они ползают по субстрату или прикрепляются к нему с помощью слизистых ножек, трубок, подушечек.

Наиболее богаты по качественному и количественному составу диатомей ценозы обрастаний. Диатомеи занимают господствующее положение среди обрастаний высших растений и макроскопических водорослей в пресных водоёмах и морях. Обрастанию могут подвергаться многие животные (такие водоросли называются эпизоонтами) от ракообразных до китов. Среди диатомей встречаются и эндобионты, которые обитают в других организмах, например в бурых водорослях, фораминиферах.

Видовой состав диатомей в водоёмах определяется комплексом абиотических факторов, из которых большое значение в первую очередь имеет солёность воды. Не менее важным фактором для развития диатомей являются температура, степень освещённости и качество света. Диатомовые вегетируют в диапазоне 0—70°C, но в состоянии покоя способны переносить как более низкие, так и более высокие температуры.

Диатомовые — фототрофные организмы, но среди них встречаются миксотрофы, симбиотрофы, а также бесцветные гетеротрофные формы.

Считается, что к классу диатомей относится около 300 родов, включающих 20—25 тысяч видов, но некоторые авторы убеждены, что истинное количество видов диатомей может достигать 200 тысяч. Самый большой род, состоящий более чем из 10 тысяч видов — *Navicula*.

В настоящее время нет устоявшейся системы диатомовых. В большинстве работ, которые касаются изучения флор диатомей, систематики и классификации, класс диатомей рассматривается в ранге отдела (*Bacillariophyta*) с тремя классами (*Coscinophyceae*, *Fragilariophyceae*, *Bacillariophyceae*). Вместе с тем использование методов молекулярной биологии показало, что *Coscinophyceae* и *Fragilariophyceae* — парафилетичные группы и требуется дальнейший пересмотр системы диатомовых водорослей [1].

В таблице 1 приведена характеристика Диатомовых водорослей [2].

## Отдел Bacillariophyta (Диатомовые или Бациляриофитные водоросли)

|                | Диатомовые водоросли                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Общее описание | <p>Отдел включает одноклеточные и колониальные водоросли коккоидной структуры. Характерной особенностью водорослей является то, что клетка заключена в силикатном панцире состоящим из почти равных двух половинок, называемых теками, плотно прилегающих друг к другу наподобие коробки. Верхняя часть панциря называется эпитекой, нижняя гипотека. Обе теки состоят из створки (дна) и пояскового ободка. Структура панциря створки имеет таксономическое значение. Клетки одноядерные, ядра крупные, центральные. Протопласт снабжён одним или двумя массивными хроматофорами с пиреноидами (класс <i>Penatophyceae</i>) или несколькими мелкими дисковидными без пиреноидов (<i>Centrophyceae</i>). Цвет хроматофоров – желтовато-бурый – обусловлен наличием пигментов: хлорофиллов а и с, β – каротина, фукоксантина, диатоксантина и диадинотоксина.</p> <p>Диатомовые водоросли – фотосинтетические организмы. Продуктом ассимиляции у них является хризоламинарин, валютин и липиды, которые в виде капель располагаются по всей цитоплазме. Некоторые виды содержат высокие концентрации липидов, ради чего их стали культивировать. Первая фабрика по культивированию диатомовых была сконструирована в Германии 1942 году с целью получения технического масла.</p> <p>Размножаются путём деления клеток с образованием</p> |

|                      | Диатомовые водоросли                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|----------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                      | <p>ауксоспор, но присуще и половое воспроизводство у представителей класса <i>Penatophyceae</i> – изогамии, а у <i>Centrophyceae</i> – изогамия и оогамия. Бесполое размножение осуществляется при помощи двужгутиковых зооспор или микроспор.</p> <p>Очень широко распространенная группа водорослей, населяющая как морские, так и пресноводные водоёмы. Встречаются как в планктоне, так и в бентосных ценозах, где часто занимают господствующее положение. В водоёмах Молдовы выявлено 510 видов и внутривидовых таксонов диатомовых. В мире же описано около 25 тыс. видов диатомовых (Сытник, Вассер, 1992).</p> <p>В планктоне преобладают виды <i>Melosira</i>, <i>Stephonodiscus</i>, <i>Cyclotella</i>, <i>Asterionella</i>, отдельные виды <i>Synedra</i>, <i>Nitzschia</i>. В бентосных ценозах доминирующее положение занимают крупнопанцирные виды <i>Navicula</i>, <i>Achanthes</i>, <i>Synedra</i>, <i>Nitzschia</i>, <i>Cymbella</i>, <i>Surirrella</i>, <i>Cumatopleura</i> и др.</p> |
| Экологическая группа | <p>Эпифитная; планктонная; бентосная; перифитонно-эпифитная; перифитонная; эупланктонная; планктонно-перифитонная; бентосно-планктонная; перифитонно-бентосная; донно-планктонная; эпифитно-донная; эпифитно-бентосная; донно-бентосная.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| Значение             | <p>Вызывает «цветение воды»; индикатор повышенной минерализации воды; индикатор уровня загрязнения воды; пища для беспозвоночных; пища для рыб; индикатор качества воды; индикатор чистой воды.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |



В учебном пособии в качестве примера приведены два вида диатомовых водорослей - *Caloneis amphisbaena* (рис. 1, 3) и *Gyrosigma acuminatum* (рис. 2, 4).

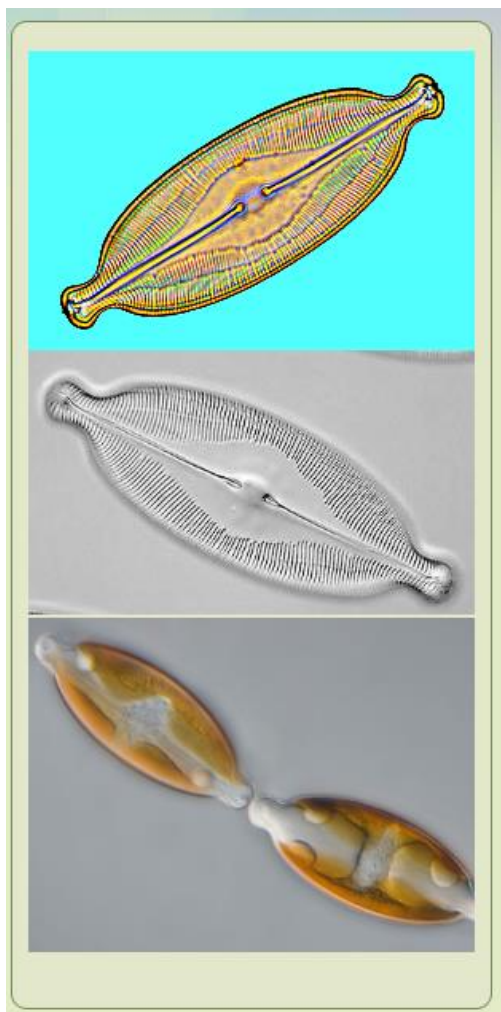


Рис. 1. *Caloneis amphisbaena*

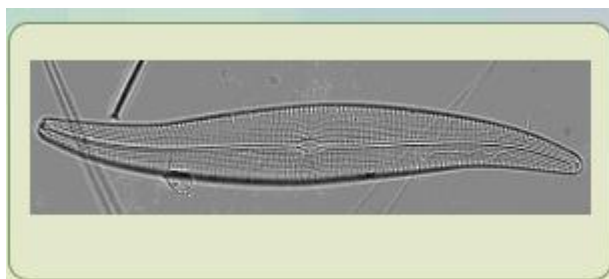


Рис. 2. *Gyrosigma acuminatum*

## Вид *Coloneis amphisbaena* (Bory) Cl. var. *amphisbaena*

|                                    |                                                                                                |
|------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Отдел:</b>                      | <b>Bacillariophyta (Диатомовые или Бациляриофитные водоросли)</b>                              |
| <b>Класс:</b>                      | <b>Pennatophyceae (Pennatae) (Пеннатные или перистые диатомеи)</b>                             |
| <b>Порядок:</b>                    | <b>Raphinales</b>                                                                              |
| <b>Семейство:</b>                  | <b>Naviculaceae West.</b>                                                                      |
| <b>Род:</b>                        | <b>Coloneis Cl.</b>                                                                            |
| <b>Структура таллома:</b>          | коккоидная                                                                                     |
| <b>Биологическая особенность:</b>  | не прикрепленные, одиночные, солоноватоводные, α-мезосапробные                                 |
| <b>Наличие ядра:</b>               | есть                                                                                           |
| Количество ядер:                   | 1                                                                                              |
| <b>Наличие хроматофоров:</b>       | есть                                                                                           |
| Количество хроматофоров:           | 2                                                                                              |
| Расположение хроматофоров:         | с поясковой стороны                                                                            |
| Форма хроматофоров:                | пластинчатая                                                                                   |
| Цвет хроматофоров:                 | коричневый                                                                                     |
| <b>Наличие панциря:</b>            | есть                                                                                           |
| Форма панциря:                     | эллиптическая, четырёхугольная (с пояска)                                                      |
| <b>Форма створок:</b>              | эллиптическая                                                                                  |
| Размеры створок - длина:           | 40 – 75 μ                                                                                      |
| Размеры створок - ширина:          | 18 – 25 μ                                                                                      |
| Форма концов створок:              | головчатая, клювовидная (редко)                                                                |
| <b>Наличие штрихов:</b>            | есть                                                                                           |
| Типы штрихов:                      | нежно пунктирные                                                                               |
| Расположение штрихов:              | радиальное, конвергентное (к концам)                                                           |
| Количество штрихов в 10 μ:         | 15 - 17                                                                                        |
| <b>Наличие осевого поля:</b>       | есть                                                                                           |
| Форма осевого поля:                | ланцетная                                                                                      |
| Характер осевого поля:             | широкое                                                                                        |
| <b>Наличие шва:</b>                | есть                                                                                           |
| Строение шва:                      | щелевидное                                                                                     |
| Расположение шва:                  | по средней осевой линии                                                                        |
| <b>Запасные вещества:</b>          | хризоламнарин, липиды                                                                          |
| <b>Фотосинтезирующие пигменты:</b> | хлорофилл «а», хлорофиллы «с», β-каротин, е-каротин, фукоксантин, диатоксантин, диадиноксантин |
| <b>Размножение:</b>                | делением клеток                                                                                |
| <b>Питание:</b>                    | автотрофное                                                                                    |
| <b>Экологическая группа:</b>       | бентосная                                                                                      |
| <b>Значение:</b>                   | индикатор уровня загрязнения воды                                                              |

Рис. 3. Вид *Coloneis amphisbaena* (Bory) Cl. var. *amphisbaena*  
(<http://algae.md/Anketa.aspx?id=i70>)

## Вид *Gyrosigma acuminatum* (Kutz.) Rabenh. var. *acuminatum*

|                                    |                                                                                               |
|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Отдел:</b>                      | <b>Bacillariophyta (Диатомовые или Бациляриофитные водоросли)</b>                             |
| <b>Класс:</b>                      | <b>Pennatophyceae (Pennatae) (Пеннатные или перистые диатомеи)</b>                            |
| <b>Порядок:</b>                    | <b>Raphinales</b>                                                                             |
| <b>Семейство:</b>                  | <b>Naviculaceae West.</b>                                                                     |
| <b>Род:</b>                        | <b>Gyrosigma Hass.</b>                                                                        |
| <b>Структура таллома:</b>          | коккоидная, одноклеточная                                                                     |
| <b>Биологическая особенность:</b>  | не прикрепленные, литоральные                                                                 |
| <b>Наличие колоний:</b>            | нет                                                                                           |
| Форма колоний:                     |                                                                                               |
| Число клеток колоний:              |                                                                                               |
| <b>Наличие ядра:</b>               | есть                                                                                          |
| Количество ядер:                   | 1                                                                                             |
| Форма ядра:                        | шаровидная (сферическая)                                                                      |
| Расположение ядра:                 | в центре протопласта                                                                          |
| <b>Наличие хроматофоров:</b>       | есть                                                                                          |
| Количество хроматофоров:           | 2                                                                                             |
| Расположение хроматофоров:         | прилегают к поясковой стороне панциря                                                         |
| Форма хроматофоров:                | пластинчатая                                                                                  |
| Цвет хроматофоров:                 | зеленовато-коричневый                                                                         |
| <b>Наличие панциря:</b>            | есть                                                                                          |
| Форма панциря:                     | линейная (с пояска), S-образная                                                               |
| Характер панциря:                  | плоский                                                                                       |
| Цвет панциря:                      | бесцветный                                                                                    |
| <b>Форма створок:</b>              | ланцетная, S-образная                                                                         |
| Размеры створок - длина:           | 102 – 190 м                                                                                   |
| Размеры створок - ширина:          | 14 – 25 м                                                                                     |
| <b>Наличие штрихов:</b>            | есть                                                                                          |
| Типы штрихов:                      |                                                                                               |
| Расположение штрихов:              | параллельное                                                                                  |
| Количество штрихов в 10 м:         | 17 - 18                                                                                       |
| <b>Наличие осевого поля:</b>       | есть                                                                                          |
| Форма осевого поля:                | узколинейная                                                                                  |
| Характер осевого поля:             | около центрального узелка слегка расширенно                                                   |
| <b>Наличие шва:</b>                | есть                                                                                          |
| Строение шва:                      | щелевидный                                                                                    |
| Расположение шва:                  | посередине створки                                                                            |
| <b>Наличие слизи пор:</b>          | есть                                                                                          |
| <b>Запасные вещества:</b>          | хризоламинарин, липиды                                                                        |
| <b>Фотосинтезирующие пигменты:</b> | хлорофилл «а», хлорофиллы «с», β-каротин, е-каротин, фикоцианин, диатоксантин, диадиноксантин |
| <b>Размножение:</b>                | делением клеток                                                                               |
| <b>Питание:</b>                    | автотрофное                                                                                   |

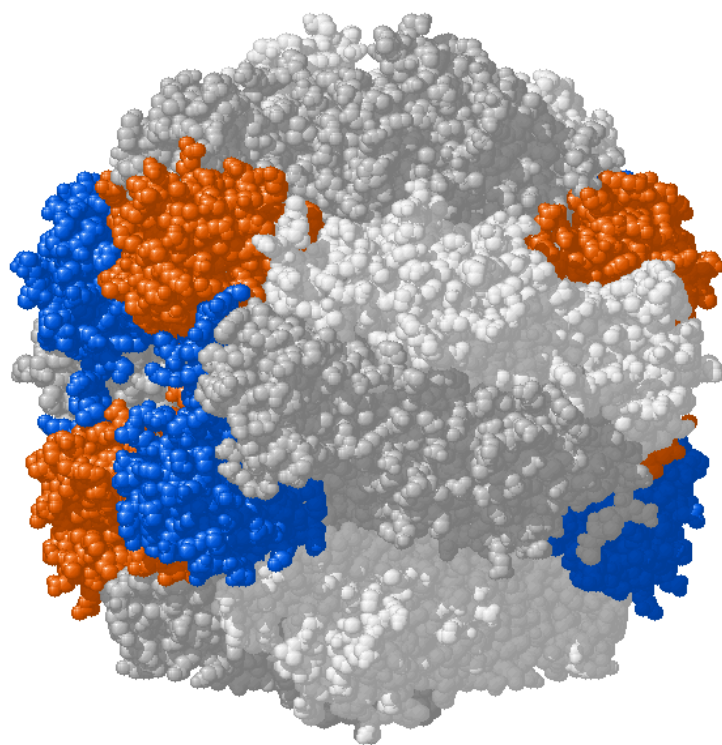
Рис. 4. Вид *Gyrosigma acuminatum* (Kutz.) Rabenh. var. *acuminatum* (<http://algae.md/Anketa.aspx?id=i252>)

## ГЛАВА 2. Описание гена и продукта гена *rbcL*

Рибулозо-1,5-бифосфаткарбоксилаза/оксигеназа – фермент (КФ 4.1.1.39), связывающий углекислоту на начальном этапе фотосинтеза (в том же сайте Rubisco может связывать кислород); считается, что Rubisco самый многочисленный белок в природе; холофермент Rubisco состоит из 8 копий субъединиц 2 типов - один из них кодируется хлоропластными генами (семейство *rbcL*), а другой детерминирован ядерными генами (семейство *rbcS*); общая молекулярная масса холофермента Rubisco около 560 кД [3].

В настоящее время ген *rbcL* является наиболее изученным и используемым в качестве маркерного гена для идентификации растений. Так, китайские ученые Liliang Guo, Zhenghong Sui, Shu Zhang, Yuanyuan Ren, Yuan Liu в своей статье: “Comparison of potential diatom ‘barcode’ genes (the 18S rRNA gene and ITS, COI, *rbcL*) and their effectiveness in discriminating and determining species taxonomy in the Bacillariophyta” отметили ген *rbcL* как лучший ДНК-штрихкод для отличия внутривидовой принадлежности организмов [4].


Продукт гена - Рибулозобисфосфаткарбоксилаза или как его еще называют RuBisCO является ферментом, играющим ключевую роль в фотодыхании. Это самый распространенный белок, содержащийся в листьях растений. RuBisCO катализирует две наиболее важные реакции: присоединение CO<sub>2</sub> в процессе фотосинтеза и окисление рибулозобифосфата в процессе фотодыхания. Активный центр белка располагается на больших цепях, объединённых в димеры. У высших растений RuBisCO состоит из восьми субъединиц, которые кодируются ядерными генами *rbcS* [5] и восемь больших субъединиц, кодирующиеся геном *rbcL* в геноме хлоропластов. Ниже представлена Модель молекулы RuBisCO. Белым и серым цветами показаны большие цепи (L), синим и оранжевым — малые (S). Две большие цепи (одна белая и одна серая) объединены в димер.



Модель молекулы RuBisCO  
<https://ru.wikipedia.org/wiki>

### ГЛАВА 3. Поиск аминокислотных последовательностей rbcL *Caloneis amphisbaena* и rbcL *Gyrosigma acuminatum*

Поиск аминокислотных последовательностей белков rbcL *Caloneis amphisbaena* и rbcL *Gyrosigma acuminatum* проведите в международной базе данных аминокислотных последовательностей GenPept на сайте NCBI (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>) [6].

На рис. 5-7 представлен пример поиска хлоропластного белка rbcL *Caloneis amphisbaena*, фрагмент аннотированной карточки аминокислотной последовательности rbcL *Caloneis amphisbaena* и аминокислотная последовательность rbcL *Caloneis amphisbaena* в формате FASTA. В строку Search (Поиск) вводим Название организма и название белка rbcL, .

Аналогичный поиск проведите для белка rbcL *Gyrosigma acuminatum*.

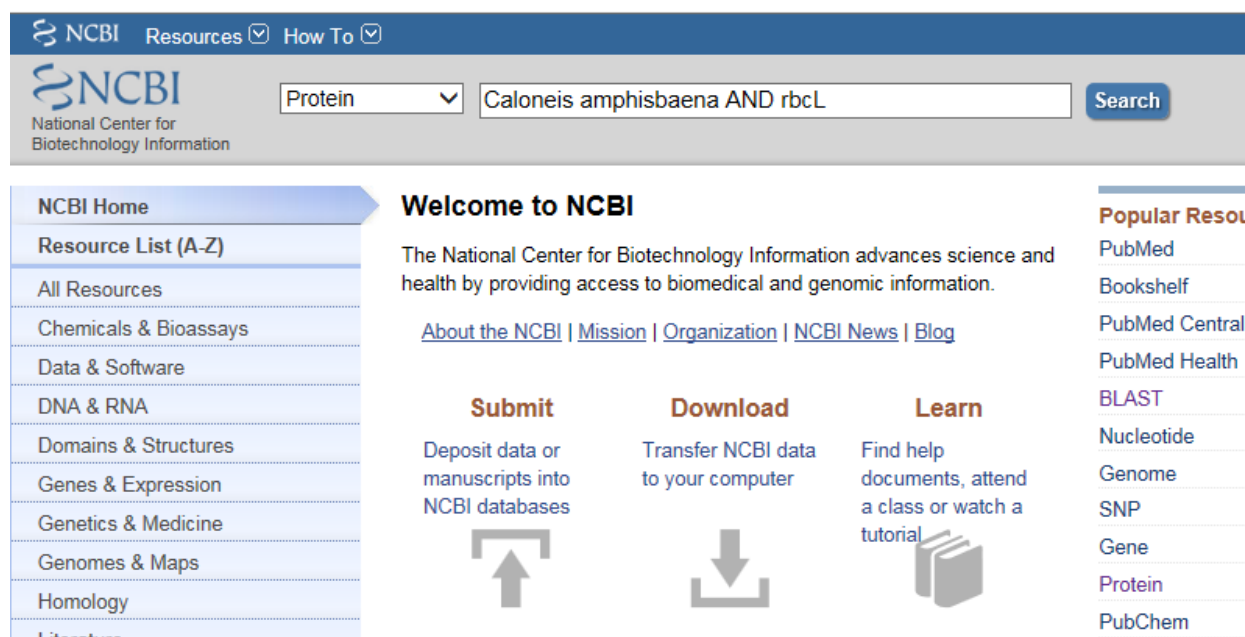


Рис. 5. Поиск rbcL *Caloneis amphisbaena* в базе данных GenPept на сайте NCBI

NCBI Resources How To

Protein Protein  Advanced

GenPept Send to

## ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase large subunit, partial (chloroplast) [*Caloneis amphisbaena*]

GenBank: AIT92083.1

[Identical Proteins](#) [FASTA](#) [Graphics](#)

---

Go to:

LOCUS AIT92083 326 aa linear PLN 25-OCT-2014

DEFINITION ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase large subunit, partial (chloroplast) [*Caloneis amphisbaena*].

ACCESSION AIT92083

VERSION AIT92083.1

DBSOURCE accession [KM084983.1](#)

KEYWORDS .

SOURCE chloroplast *Caloneis amphisbaena*

ORGANISM [Caloneis amphisbaena](#)  
Eukaryota; Stramenopiles; Bacillariophyta; Bacillariophyceae; Bacillariophycidae; Naviculales; Naviculaceae; *Caloneis*.

REFERENCE 1 (residues 1 to 326)

AUTHORS Zimmermann, J., Abarca, N., Enk, N., Skibbe, O., Kusber, W.H. and Jahn, R.

TITLE Taxonomic reference libraries for environmental barcoding: a best practice example from diatom research

JOURNAL PLoS ONE 9 (9), E108793 (2014)

PUBMED [25265556](#)

REMARK Publication Status: Online-Only

REFERENCE 2 (residues 1 to 326)

AUTHORS Zimmermann, J.

TITLE Direct Submission

JOURNAL Submitted (02-JUL-2014) Botanicus, Justus-Liebig-University Giessen, Heinrich-Buff-Ring 38, Giessen, Hessen 35392, Germany

COMMENT ##Assembly-Data-START##  
Sequencing Technology :: Sanger dideoxy sequencing  
##Assembly-Data-END##

FEATURES Location/Qualifiers

source 1..326  
/organism="Caloneis amphisbaena"  
/organelle="plastid:chloroplast"  
/strain="Navil"  
/isolation\_source="pond"  
/specimen\_voucher="B 40 0040833"  
/bio\_material="DB 8645"  
/db\_xref="taxon:431324"

Рис. 6. Фрагмент аннотированной карточки аминокислотной последовательности *rbcL Caloneis amphisbaena*

NCBI Resources How To

Protein Protein Advanced

FASTA Send

**ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase large subunit partial (chloroplast) [Caloneis amphisbaena]**

GenBank: AIT92083.1

[GenPept](#) [Identical Proteins](#) [Graphics](#)

```
>AIT92083.1 ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase large subunit, partial
(chloroplast) [Caloneis amphisbaena]
VIPYAKMGYWDASYAVKTTDVLALFRITPQPGVDPVEAAA VAGESSTATWTVVWTDLLTACDRYRAKAY
RVDPVPNTTDQFFAFVAYECDLFEEGSLANLTASIIIGNVFGFKAISALRLEDMRIPHSYLKTFQGPATGV
IVERERLNKYGAPLLGATVKPKLGLSGKNYGRVVYEGLKGGLDFLKDDENINSQPFMRWRERFLYCMEGI
NRAAAATGEVKGSYLNITAGTMEQVYERANYAKAVGSIIVMIDLVMGYTAIQSAALWARNNMMLLHLHRA
GNSTYARQKNHGINFVRVICKWMRMSGVDHIHAGTVVVGKLEGDPLMI
```

Рис. 7. Формат FASTA *rbcL Caloneis amphisbaena*

Ниже представлены аминокислотные последовательности *rbcL Caloneis amphisbaena* и *rbcL Gyrosigma acuminatum* в формате FASTA:

```
>AIT92083.1 ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase large subunit,
partial (chloroplast) [Caloneis amphisbaena] 326 aa
VIPYAKMGYWDASYAVKTTDVLALFRITPQPGVDPVEAAA VAGESSTATWTVVWTDLLTACDRYRAKAY
RVDPVPNTTDQFFAFVAYECDLFEEGSLANLTASIIIGNVFGFKAISALRLEDMRIPHSYLKTFQGPATGV
IVERERLNKYGAPLLGATVKPKLGLSGKNYGRVVYEGLKGGLDFLKDDENINSQPFMRWRERFLYCMEGI
NRAAAATGEVKGSYLNITAGTMEQVYERANYAKAVGSIIVMIDLVMGYTAIQSAALWARNNMMLLHLHRA
GNSTYARQKNHGINFVRVICKWMRMSGVDHIHAGTVVVGKLEGDPLMI
```

```
>AEB91218.1 ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase large subunit
(chloroplast) [Gyrosigma acuminatum] 490 aa
MSQVSERTRIKSDRYESGVIPYAKMGYWDASYAVKQTDVLALFRITPQPGVDPVEAAA VAGESSTATW
TVVWTDLLTACDRYRAKAYRVDPVPNTTDQYFAFIA YECDLFEEGSLANLTASIIIGNVFGFKAISALRLE
DMRIPHSYLKTFQGPATGIIVERERLNKYGIPLLGATVKPKLGLSGKNYGRVVFEGGLDFLKDDENI
NSQPFMRWRERFLYCMEGINRASAATGEVKGSYLNITAA TMEEVYKRAEYAKTVGSIIVMIDLVMGYTAI
QSIALWARENDMVLHLHRAGNSTYARQKNHGINFVRVICKWMRMCGVDHIHAGTVVVGKLEGDPLMIKGFYD
ILRKPTLAVNLSYGIFFEMTWASLRKCMVASGGIHCQMQHQLIHYLGDDVVLQFGGGTIGHPDGIQAGA
TANRVALEAMVLARNEGADYFSNQVGPRI LRDAARTCGPLQTALDLWKDISFNYSYTDADFAETPTANV
```





## # Program: Needle

```

=====
# Aligned_sequences: 2; # Length: 490; # Identity:      310/490 (63.3%)
# Similarity:      318/490 (64.9%); # Gaps:           164/490 (33.5%);
# Score: 1640.0
=====
AEB91218.1      1 MSQSVSERTRIKSDRYESGVIPYAKMGYWDASYAVKQTDVLALFRITPQP      50
                                     |||...|||
AIT92083.1      1 -----VIPYAKMGYWDASYAVKTTDVLALFRITPQP      31

AEB91218.1     51 GVDPVEAAAAVAGESSTATWTVVWTDLLTACDRYRAKAYRVDVPNTTDQ      100
                                     |||...|||
AIT92083.1     32 GVDPVEAAAAVAGESSTATWTVVWTDLLTACDRYRAKAYRVDVPNTTDQ      81

AEB91218.1    101 YFAFIAYECDLFEEGSLANLTASIIIGNVFGFKAISALRLEDMRIPHSYLK      150
      :||:|||||...|||
AIT92083.1     82 FFAFVAYECDLFEEGSLANLTASIIIGNVFGFKAISALRLEDMRIPHSYLK      131

AEB91218.1    151 TFQGPATGIIVERERLNKYGIPLLGATVKPKLGLSGKNYGRVVFEGLKGG      200
      |||:|||||...|||:|||||
AIT92083.1    132 TFQGPATGVIVERERLNKYGAPLLGATVKPKLGLSGKNYGRVVYEGLKGG      181

AEB91218.1    201 LDFLKDDENINSQPFMRWRERFLYCMEGINRASAATGEVKGSYLNITAAT      250
      |||...|||:|||||...|
AIT92083.1    182 LDFLKDDENINSQPFMRWRERFLYCMEGINRAAAATGEVKGSYLNITAGT      231

AEB91218.1    251 MEEVYKRAEYAKTVGSIIIVMIDLVMGYTAIQSIALWARENDMVLHLHRAG      300
      ||:|:|...|||...|||...|||:|||||
AIT92083.1    232 MEQVYERANYAKAVGSIIIVMIDLVMGYTAIQSAALWARNDMLLHLHRAG      281

AEB91218.1    301 NSTYARQKNHGINFRVICKWMRMCGVDHIHAGTVVGKLEGDPLMIKGFYD      350
      |||...|||
AIT92083.1    282 NSTYARQKNHGINFRVICKWMRMSGVDHIHAGTVVGKLEGDPLMI-----      326

AEB91218.1    351 ILRKPTLAVNLSYGIFFEMTASLRKCMPVASGGIHCGQMHLIHYLGDD      400
AIT92083.1    327 -----      326

AEB91218.1    401 VVLQFGGGTIGHPDGIQAGATANRVALEAMVLARNEGADYFSNQVGPRIL      450
AIT92083.1    327 -----      326

AEB91218.1    451 RDAARTCGPLQTALDLWKDISFNYTSTDADFAPTANV      490
AIT92083.1    327 -----      326


```

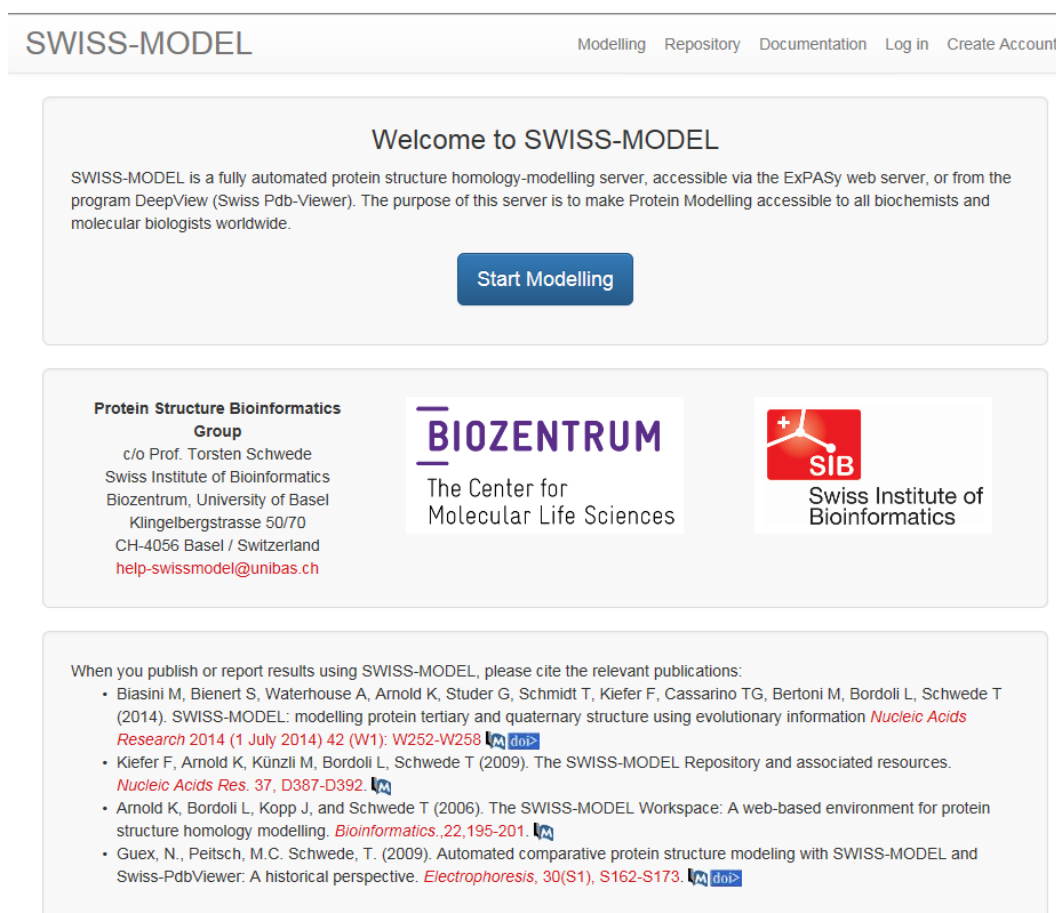
По результатам парного выравнивания аминокислотных последовательностей выделите переменный участок *rbcL*, например, **QVYERANYAKA** у организма *Caloneis amphisbaena* и **EYKRAEYAKT** у организма *Gyrosigma acuminatum*.

## ГЛАВА 5. Построение 3D белков rbcL *Caloneis amphibaena* и rbcL *Gyrosigma acuminatum*

3D моделирование белков rbcL одноклеточных водорослей выполните в программе «SWISS-MODEL» (Introduction to SWISS-MODEL Workspace [https://swissmodel.expasy.org/docs/help#model\\_results](https://swissmodel.expasy.org/docs/help#model_results)) [9].

### Этапы построения 3D модели в режиме онлайн:

1. Введите в адресную строку: <http://swissmodel.expasy.org/>. Домашняя страница SWISS-MODEL приведена на рис. 8. Нажмите на кнопку .



The screenshot shows the SWISS-MODEL homepage. At the top, there is a navigation bar with links for 'Modelling', 'Repository', 'Documentation', 'Log in', and 'Create Account'. The main content area features a 'Welcome to SWISS-MODEL' section with a brief description of the service and a 'Start Modelling' button. Below this, there is a section for the 'Protein Structure Bioinformatics Group' at the University of Basel, including contact information and logos for 'BIOZENTRUM' and 'SIB'. At the bottom, there is a section for 'When you publish or report results using SWISS-MODEL, please cite the relevant publications:' followed by a list of five references with links to the original publications.

Рис. 8. Домашняя страница SWISS-MODEL

2. В поле Target Sequence введите аминокислотную последовательность *rbcL Caloneis amphisbaena* в формате FASTA (рис.9):

```
>AIT92083.1 ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase large subunit,
partial (chloroplast) [Caloneis amphisbaena] 326 aa
VIPYAKMGYWDASYAVKTTDVLALFRITPQPGVDPVEAAAAGESSTATWTVVWTDLLTACDRYRAKAY
RVDVFNNTDQFFAFVAYECDLFEEGSLANLTASIIIGNVFGFKAISALRLEDMRIPHSYLKTFOGPATGV
IVERERLNKYGAPLLGATVKPKLGLSGKNYGRVVYEGLKGGDLFLKDDENINSQPFMRWRERFLYCMEGI
NRAAAATGEVKGSYLNIITAGTMEQVYERANYAKAVGSIIVMIDLVMGYTAIQSAALWARNDMLLHLHRA
GNSTYARQKNHGINFRVICKWMRMSGVDHIHAGTVVGKLEGDPLMI
```

BIOZENTRUM  
Universität Basel  
The Center for Molecular Life Sciences

SWISS-MODEL

Start a New Modelling Project

Target Sequence:  
(Format must be *Fasta*, *Clustal*, *Promod*,  
*plain string*, or a valid *UniProtKB AC*)

>AIT92083.1 ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase large subunit, partial (chloroplast) [Caloneis amphisbaena] 326 aa  
VIPYAKMGYWDASYAVKTTDVLALFRITPQPGVDPVEAAAAGESSTATWTVVWTDLLTACDRYRAKAY  
RVDVFNNTDQFFAFVAYECDLFEEGSLANLTASIIIGNVFGFKAISALRLEDMRIPHSYLKTFOGPATGV  
IVERERLNKYGAPLLGATVKPKLGLSGKNYGRVVYEGLKGGDLFLKDDENINSQPFMRWRERFLYCMEGI  
NRAAAATGEVKGSYLNIITAGTMEQVYERANYAKAVGSIIVMIDLVMGYTAIQSAALWARNDMLLHLHRA

+ Upload Target Sequence File...

Project Title: Untitled Project

Email: Optional

Search For Templates Build Model

Рис. 9. Ввод аминокислотной последовательности *rbcL Caloneis amphisbaena*

Если нет ошибок, программа автоматически окрашивает последовательность. В строку Project Title введите название организма - *Caloneis amphisbaena*, нажмите кнопку **Build Model** (Рис.10).

BIOZENTRUM  
Universität Basel  
The Center for Molecular Life Sciences

SWISS-MODEL

Start a New Modelling Project

Target Sequence:  
(Format must be *Fasta*, *Clustal*, *Promod*,  
*plain string*, or a valid *UniProtKB AC*)

Target: VIPYAKMGYWDASYAVKTTDVLALFRITPQPGVDPVEAAAAGESSTATWTVVWTDLLTACDRYRAKAYRVDVFNNTDQFFAFVAYECDLFEEGSLANLTASIIIGNVFGFKAISALRLEDMRIPHSYLKTFOGPATGVIVERERLNKY 150  
Target: GAPLLGATVKPKLGLSGKNYGRVVYEGLKGGDLFLKDDENINSQPFMRWRERFLYCMEGINRAAAATGEVKGSYLNIITAGTMEQVYERANYAKAVGSIIVMIDLVMGYTAIQSAALWARNDMLLHLHRA 300  
Target: NMRMSGVDHIHAGTVVGKLEGDPLMI 326

Reset Form

+ Upload Target Sequence File...

Project Title: Caloneis amphisbaena

Email: Optional

Search For Templates Build Model

Рис. 10. Ввод данных в программу SWISS-MODEL

3. Построение 3D модели *Caloneis amphisbaena* длится в течение нескольких минут (3-5 минут, рис.11). Откройте параллельно еще одно окно SWISS-MODEL для построения 3D модели rbcL *Gyrosigma acuminatum*.

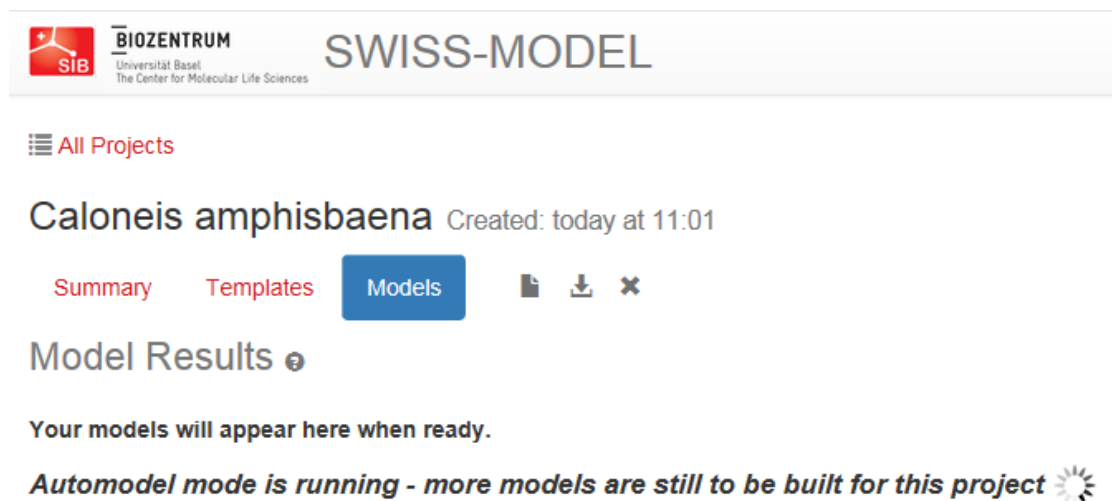


Рис. 11. Процесс построения 3D модели rbcL *Caloneis amphisbaena*

4. Когда модель будет готова, веб-страница сама обновится (Рис. 12).


| Template | Seq Identity | Coverage | Description                                  |
|----------|--------------|----------|----------------------------------------------|
| 1bww.1.A | 81.23%       | 100%     | PROTEIN (RIBULOSE BISP HOSPHATE CARBOXYLASE) |

Model-Template Alignment

```

Model_01 V I P Y A R M G Y D A S T A V K T T D V L A L F R I T P Q P G V D P V E A A A A V A G E S S T A T W T V V M 55
1bww.1.A V I P Y A R K H G Y D N P D Y Q V K T T D V L A L F R I T P Q P G V D P E A A A A V A G S S T A T W T V V M 79
Model_01 T D L L T A C D R Y R A K A Y R V D P V P N T T D Q F A P A Y E C D L F E E G S L A N L T A S I I G N V E 110
1bww.1.A T D L L T A C D I R A K A Y R V D P V P N T T D Q F A P A Y E C D L F E E G S L A N L T A S I I G N V E 134
Model_01 G P K A I S A L R L E D M R I P H S Y L K T F G G P A T G V I V E R E R L N K Y G A P L L G A T V K P K L G L 165
1bww.1.A G P R A I A L R L E D H P C Y Y H K T F G G P A T G V I E R E R L K G G P L L D K P R L G L 189
Model_01 S G K N Y G R V V Y E L K G G L D F L K D D E N I N S P F F M R W R E R F L Y C M E G I N R A A A A T G E V 220
1bww.1.A S G K N Y G R V V Y E L K G G L D F L K D D E N I N S P F F M R R E R L T M E A V N A A A T G E V 244
Model_01 K G S Y L N I T A G T M R Q V P R A N Y A K A V G S I I V M I D L V M G Y T A I Q S A A L W A R N N D M L E 275
1bww.1.A K G S Y L N T A T M E Y R A N T A K G S I I H I D L V Y C Y T A I Q T A W A R N D M L E 299
Model_01 H L H R A G N S T Y A R Q K N H G I N F R V I C K W M R M S G V D H I H A G T V V G K L E G D P L M I 326
1bww.1.A H L H R A G N S T Y R Q K N H G I N F R V I C K W M R M S G V D H I H A G T V V G K L E G D P L I 349
  
```

Рис. 12. Результаты построения 3D модели rbcL *Caloneis amphisbaena*

5. Сохраните 3D модель, нажмите кнопку . Модель сохраняется в архиве (Рис.13):

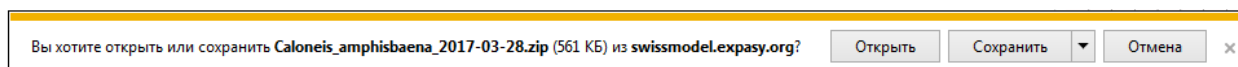


Рис. 13. Сохранение модели на локальный диск

6. Распакуйте архив «Caloneis\_amphisbaena\_2017-03-28», в котором находятся три папки (Рис.14). Откройте папку «model», в которой находится файл «model.pdb». Переименуйте файл в «Caloneis\_amphisbaena.pdb».

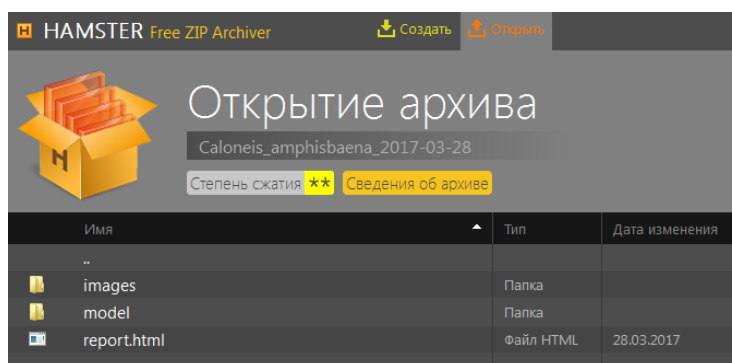


Рис. 14. Архивный файл «Caloneis\_amphisbaena\_2017-03-28»

7. 3D модель rbcL *Caloneis amphisbaena* приведена на рис.15.

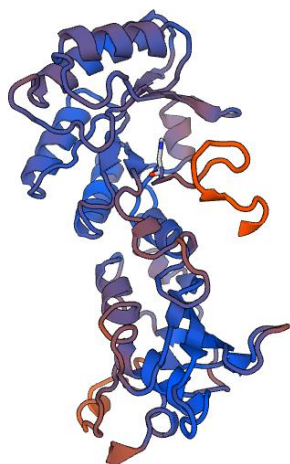


Рис. 15. 3D модель  
rbcL *Caloneis\_amphisbaena*



## ГЛАВА 6. Визуализация 3D моделей rbcL *Caloneis\_amphisbaena* и rbcL *Gyrosigma acuminatum*

Анализ 3D моделей белков rbcL одноклеточных водорослей в формате PDB проведите в программе Jalview [10]. PV JavaScript Protein Viewer <http://biasmv.github.io/pv/>.

Этапы работы в программе Jalview:

1. Введите в адресную строку: [www.jalview.org](http://www.jalview.org) и скачайте программу.
2. Запустите программу на выполнение.
3. Откройте Меню «File» - Input Alignment – from File (Рис.18).

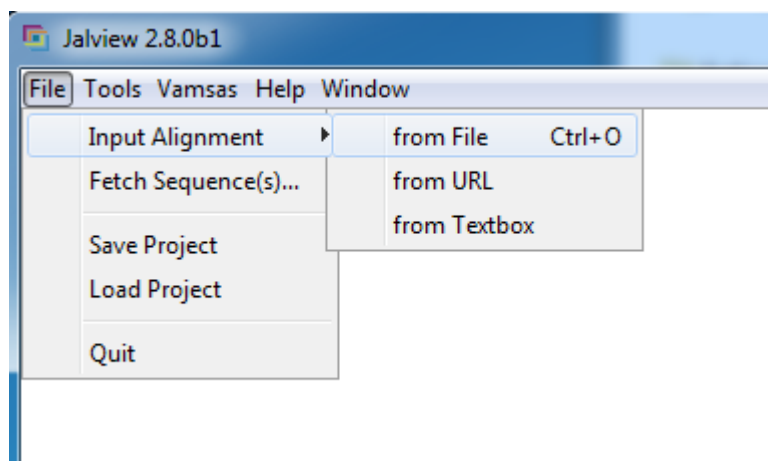


Рис. 18. Окно открытия Меню «File»

4. В диалоговом окне «Open local file» выберите файл «*Caloneis\_amphisbaena.pdb*» – модель белка rbcL (Рис.19).



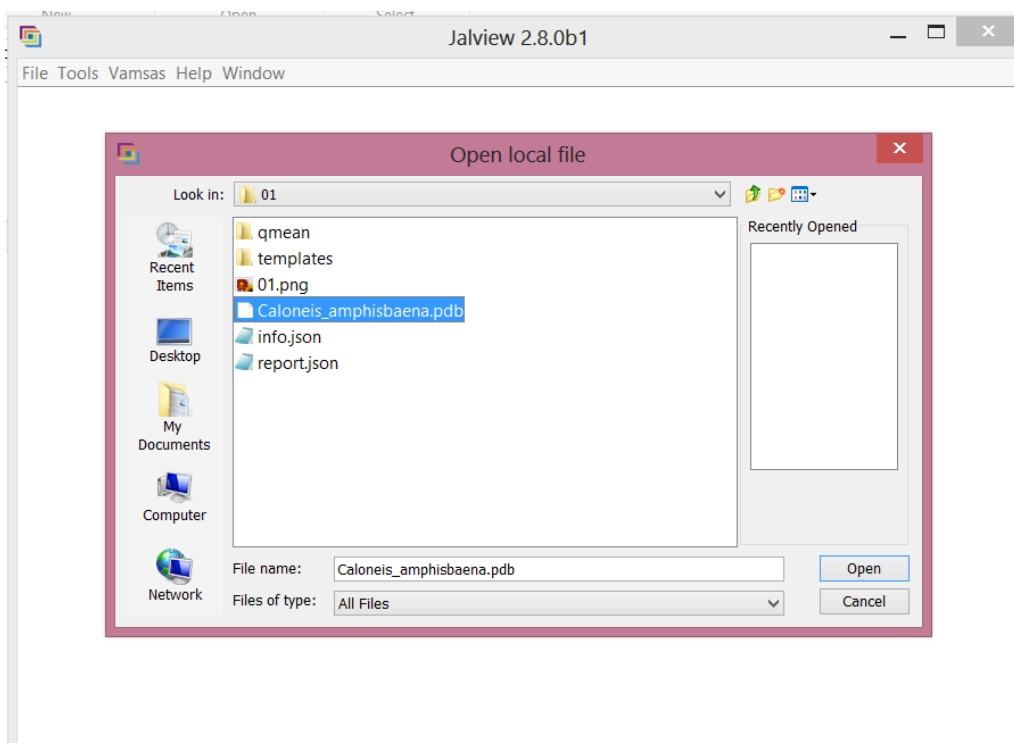


Рис. 19. Выбор файла *Caloneis\_amphisbaena.pdb* в диалоговом окне

5. Загруженный файл появляется в окне (Рис.20).

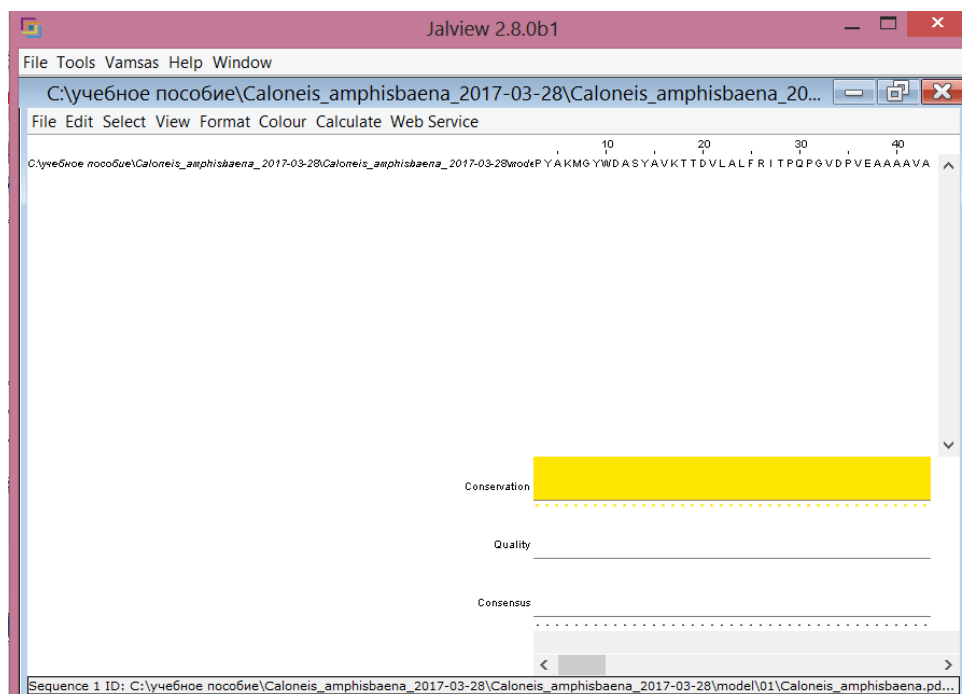


Рис. 20. Загрузка файла *Caloneis\_amphisbaena.pdb* в программу

6. Для визуализации 3D модели rbcL *Caloneis amphisbaena* переместите указатель мыши в левую часть верхней строки и нажмите правую клавишу мыши. Из контекстного меню выберите - Structure – View Structure – ссылку на расположение файла на диске (Рис.21-22).

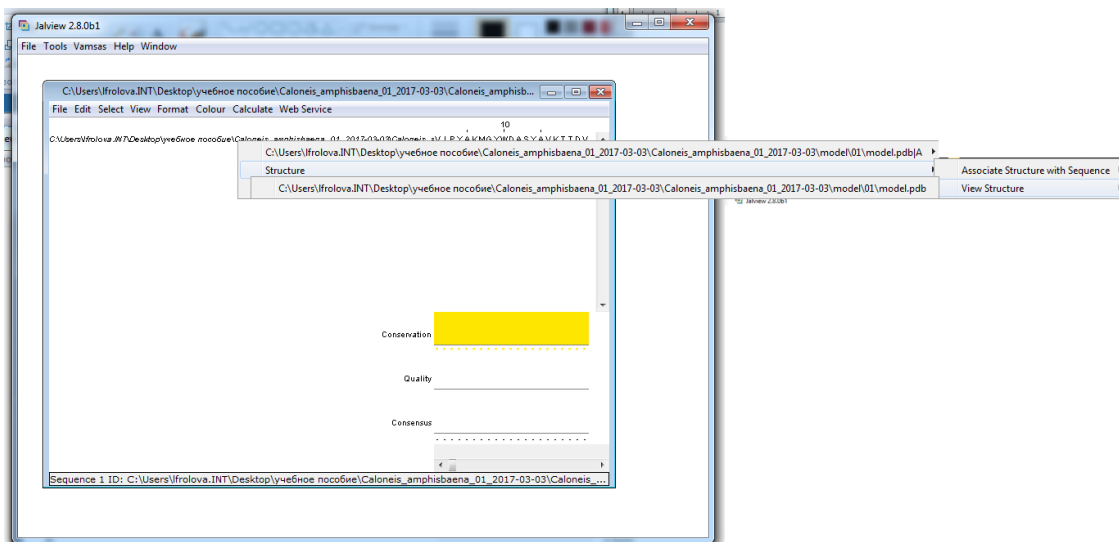


Рис. 21. Загрузка 3D модели rbcL *Caloneis amphisbaena*

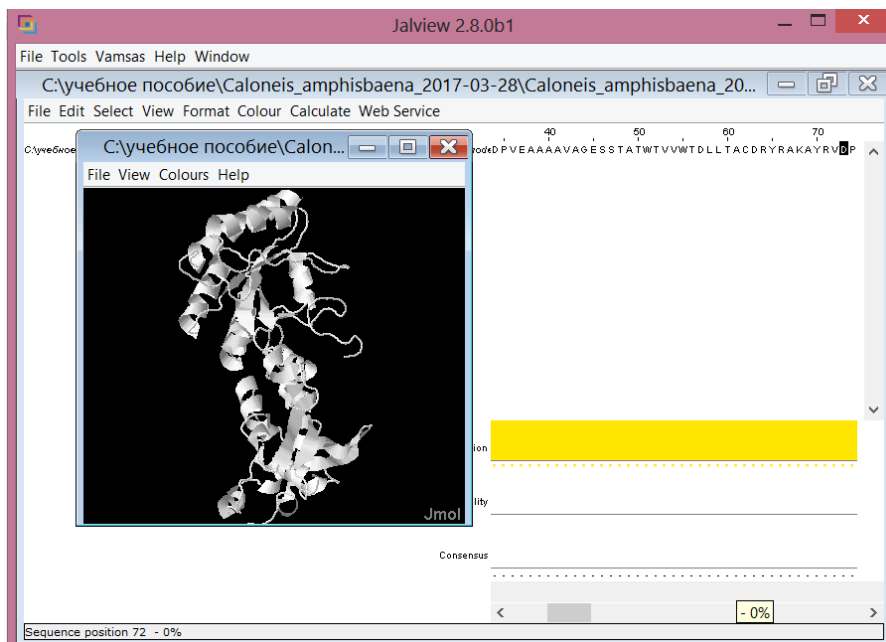


Рис. 22. Визуализация 3D модели rbcL *Caloneis amphisbaena*

7. Выделите переменный участок **QVYERANYAKA** белка rbcL у организма *Caloneis amphibaena*. В меню выберите Select – Find, введите фрагмент последовательности QVYERANYAKA, нажмите Ввод. Найденный фрагмент выделен маркером (Рис. 23).

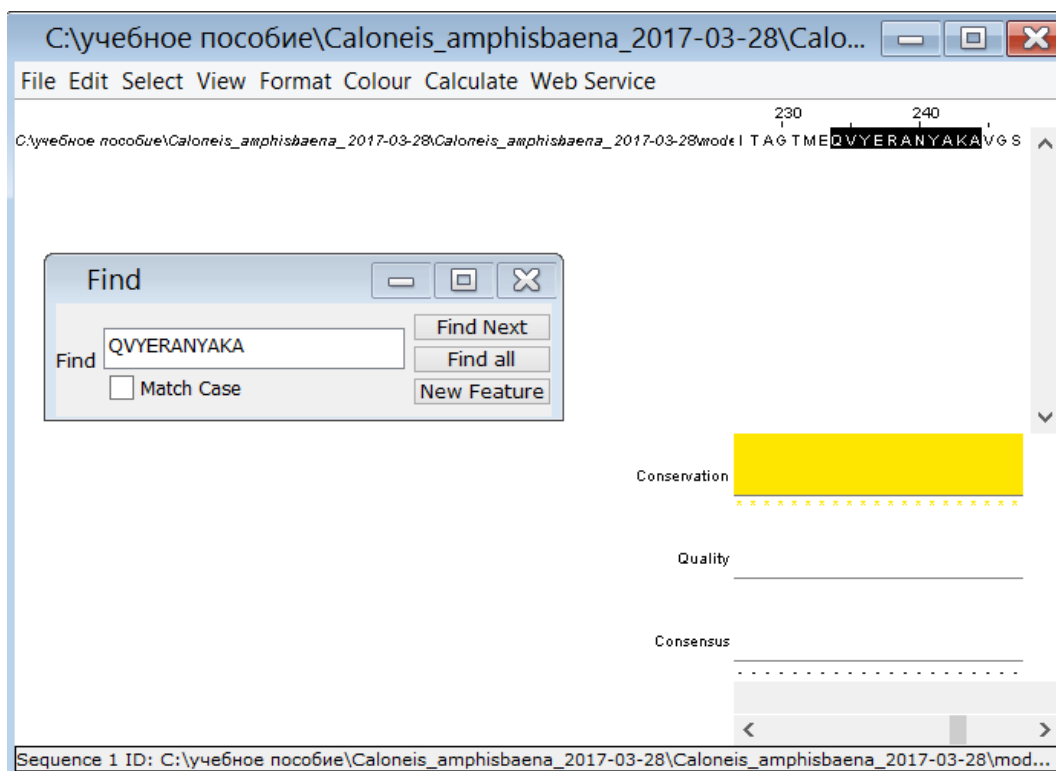


Рис. 23. Поиск переменного участка rbcL *Caloneis amphibaena*

8. Выделите переменный участок rbcL *Caloneis amphibaena* в последовательности, указатель мыши переместите на первый символ в последовательности, нажмите левую клавишу мыши и не отпуская ее, выделите фрагмент до последнего символа. Выделенный фрагмент последовательности отмечен красным пунктирным прямоугольником (Рис.24).

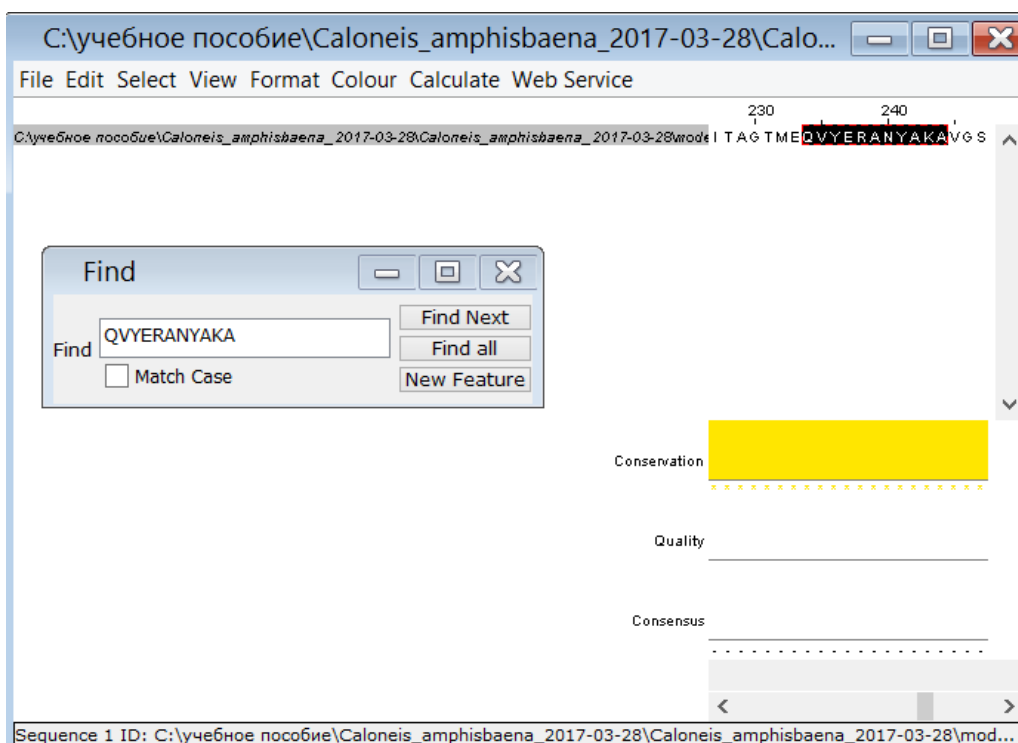


Рис. 24. Выделение фрагмента последовательности QVYERANYAKA

9. Для окрашивания фрагмента последовательности к выделенному красной пунктирной линией участку переместите указатель мыши и нажмите правую клавишу мыши. Из контекстного меню выберите Selection – Group – Group Colour – Clustalx colours (Рис.25).

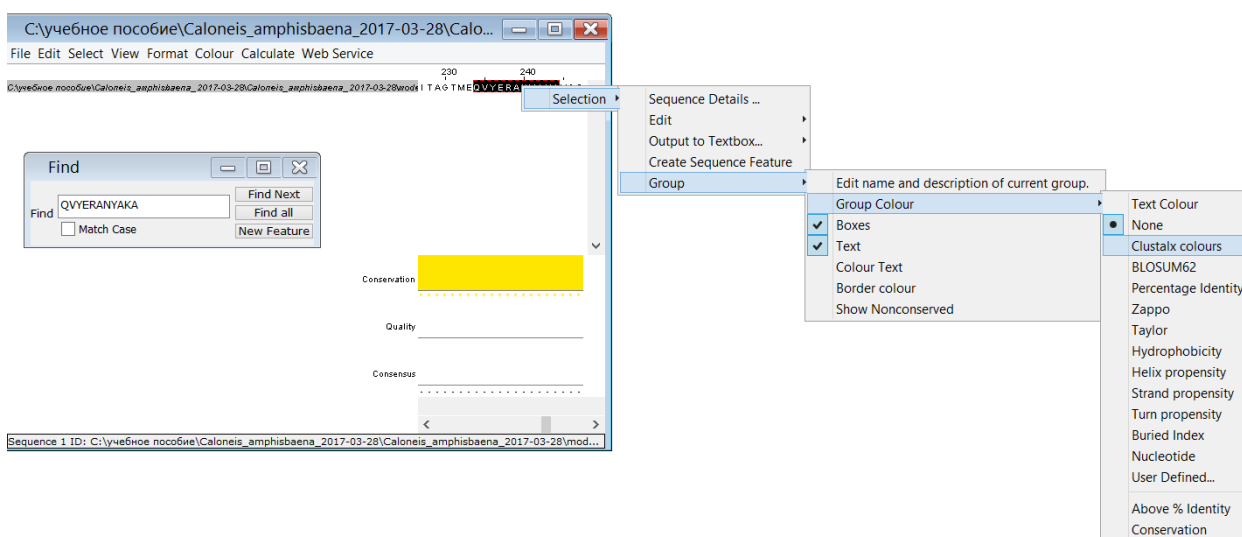


Рис. 25. Выбор команды для окрашивания фрагмента последовательности

10. Получаем 3D модель *rbcL Caloneis amphisbaena* с выделенным варибельным участком QVYERANYAKA. Нажатием левой клавиши мыши вращайте модель в плоскости (Рис.26).



Рис. 26. 3D модель *rbcL Caloneis amphisbaena* с выделенным варибельным участком QVYERANYAKA

11. Сохраните модель на локальный диск: выберите меню File – Save As в формате PNG или нажмите кнопку на клавиатуре Prt Sc (Print Screen) (Рис.27).

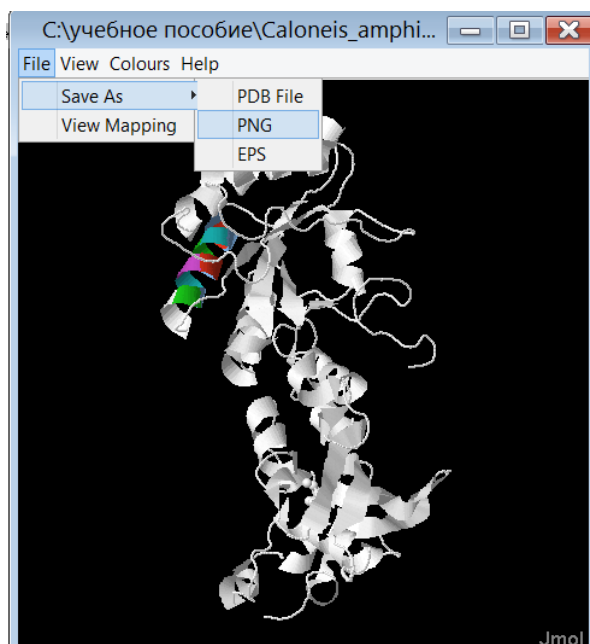


Рис. 27. Сохранение модели на локальный диск

12. Визуализация и сохранение 3D модели *rbcL Gyrosigma acuminatum* с выделенным варибельным участком EVYKRAEYAKT проведите аналогично 3D модели *rbcL Caloneis amphisbaena* с выделенным варибельным участком QVYERANYAKA (п.п. 1-11). 3D модель *rbcL Gyrosigma acuminatum* с выделенным варибельным участком EVYKRAEYAKT представлена на рис.28.

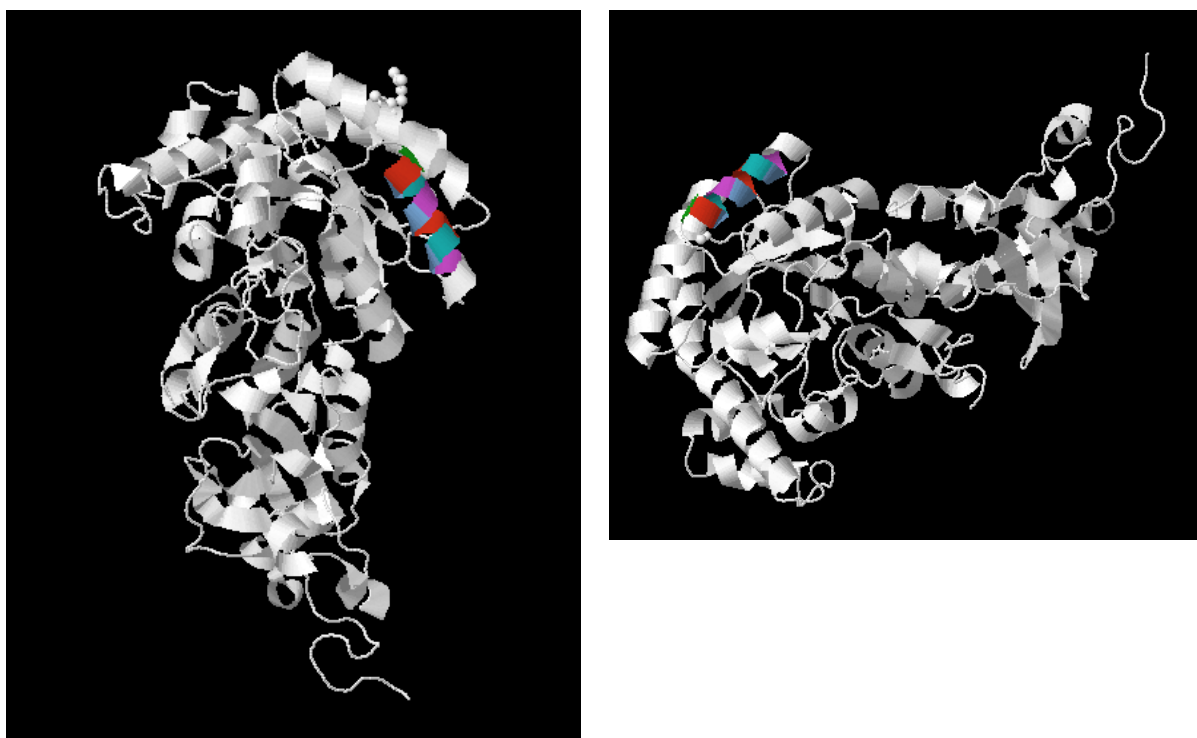


Рис. 28. 3D модель *rbcL Gyrosigma acuminatum* с выделенным варибельным участком EVYKRAEYAKT

## ГЛАВА 7. Сравнение 3D моделей rbcL *Caloneis amphisbaena* и rbcL *Gyrosigma acuminatum*

Сравнение 3D моделей rbcL *Caloneis amphisbaena* и rbcL *Gyrosigma acuminatum* выполните в программе Jalview:

1. Загрузите 3D модель rbcL *Caloneis amphisbaena* с локального диска: меню File – Input Alignment – from File - *Caloneis amphisbaena.pdb* (рис.29).

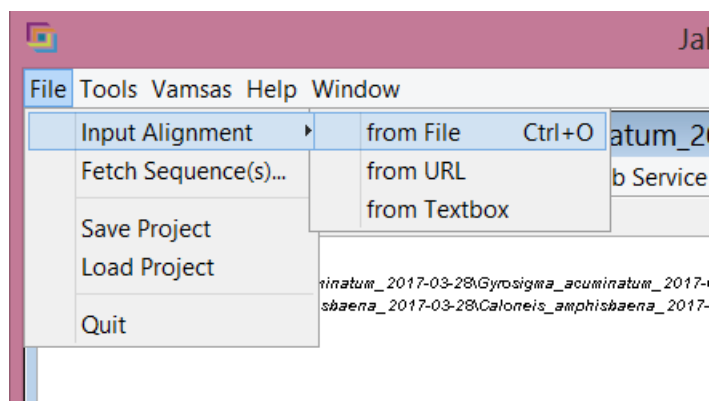


Рис. 29. Загрузка 3D модели с локального диска

2. Добавьте 3D модель rbcL *Gyrosigma acuminatum* с локального диска: меню File – Add Sequences – From File (Рис.30).

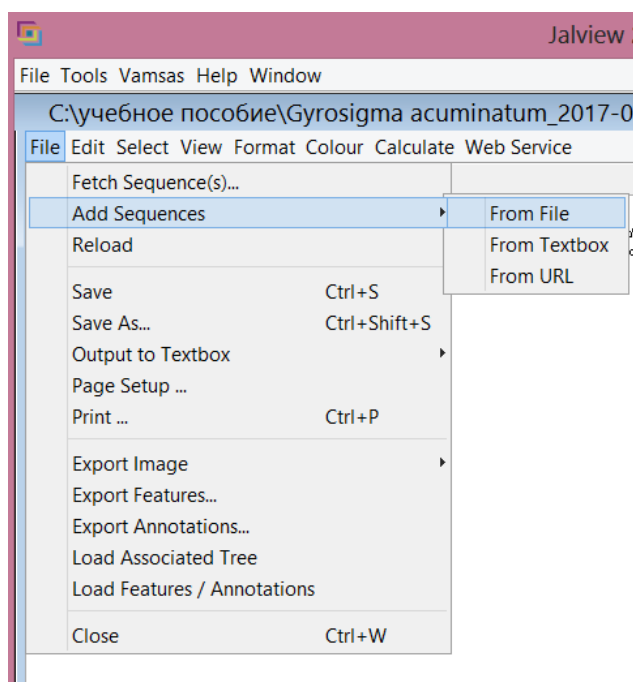


Рис. 30. Добавление 3D модели с локального диска

3. Последовательности и результат парного выравнивания приведены на рис.31.

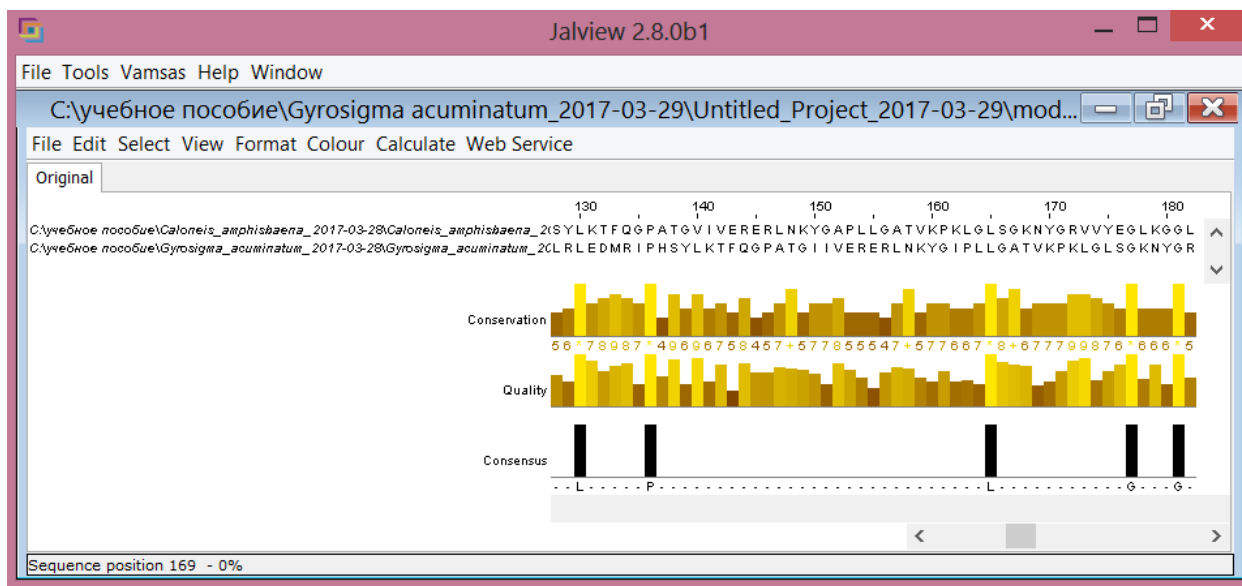


Рис. 31. Парное выравнивание последовательностей rbcL *Caloneis amphisbaena* и rbcL *Gyrosigma acuminatum*

4. Выделите синим цветом фрагмент последовательности QVYERANYАКА rbcL *Caloneis amphisbaena* – указатель мыши переместите на строку с *Caloneis amphisbaena*, нажмите клавиши Ctrl-F для вызова строки поиска, введите QVYERANYАКА и нажмите ВВОД; затем указатель мыши наведите на первый символ, нажмите клавишу мыши и не опуская ее выделите фрагмент до последнего символа – появится прямоугольник, очерченный красной пунктирной линией. По правой клавише мыши из контекстного меню выберите команду – Selection – Create Sequence Feature (Рис. 32).



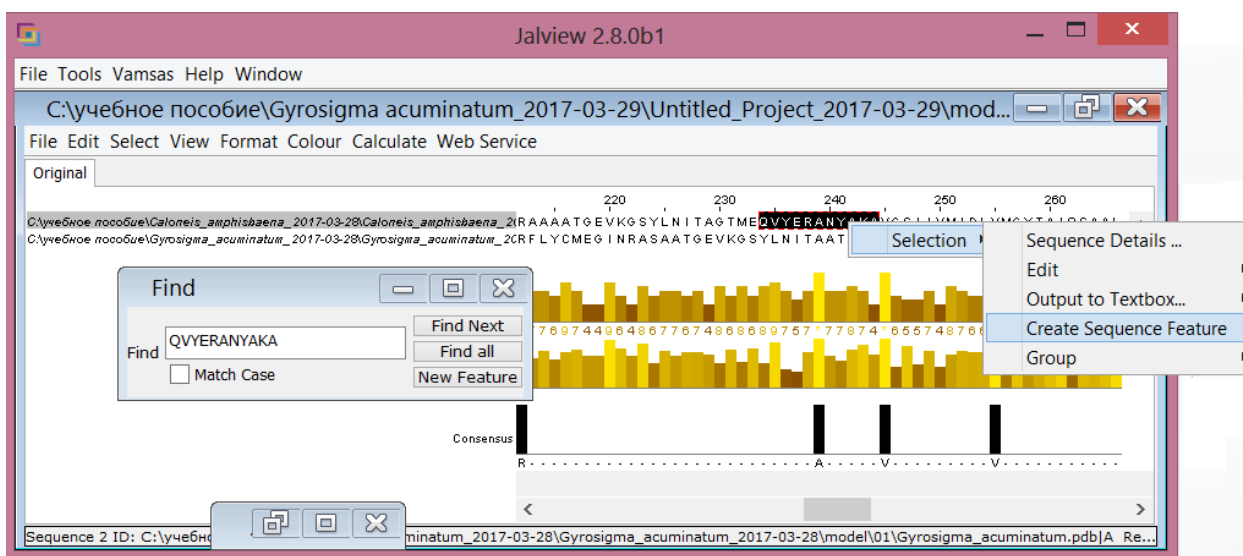


Рис. 32. Выделение цветом фрагмента последовательности

В окне Create New Sequence Feature(s) (Рис.33) указатель мыши переместите на палитру в поле Colour, нажмите левую клавишу мыши для вызова палитры и выбора цвета, нажмите кнопку ОК (Рис.34).

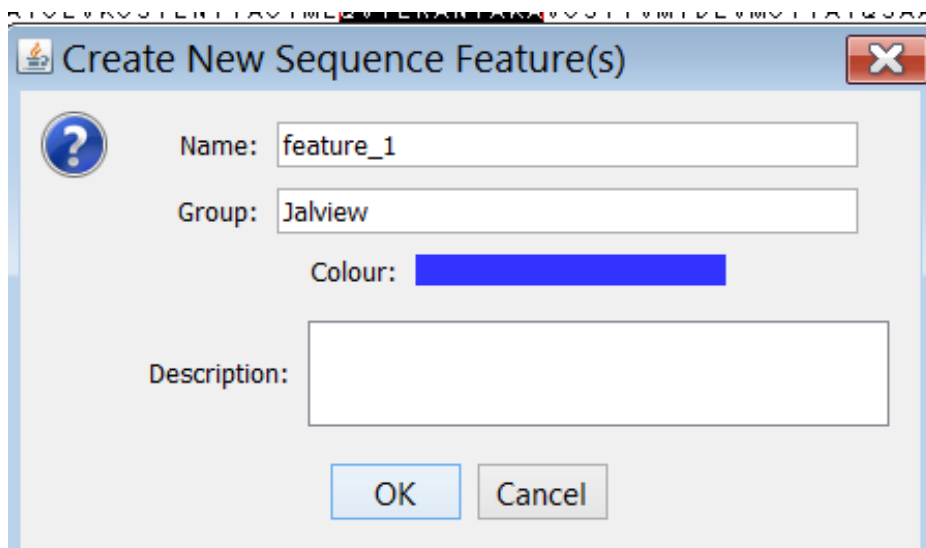


Рис. 33. Выбор цвета для фрагмента последовательности

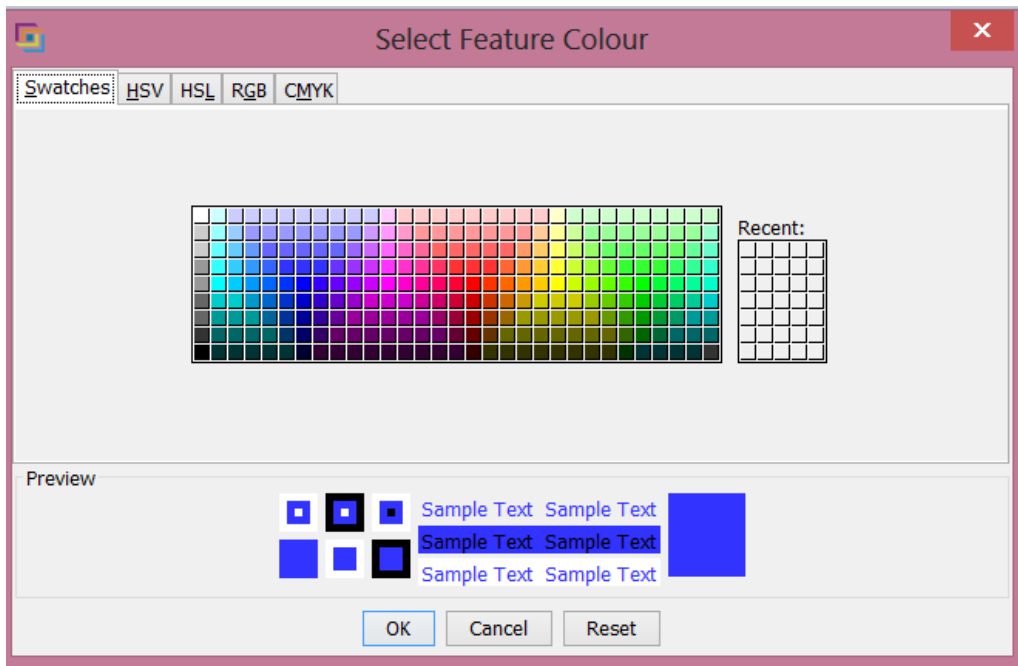


Рис. 34. Выбор цвета из палитры

5. Выделите красным цветом фрагмент последовательности EVYKRAEYAKT rbcL *Gyrosigma acuminatum* аналогично п.4. Результат представлен на рис.35.

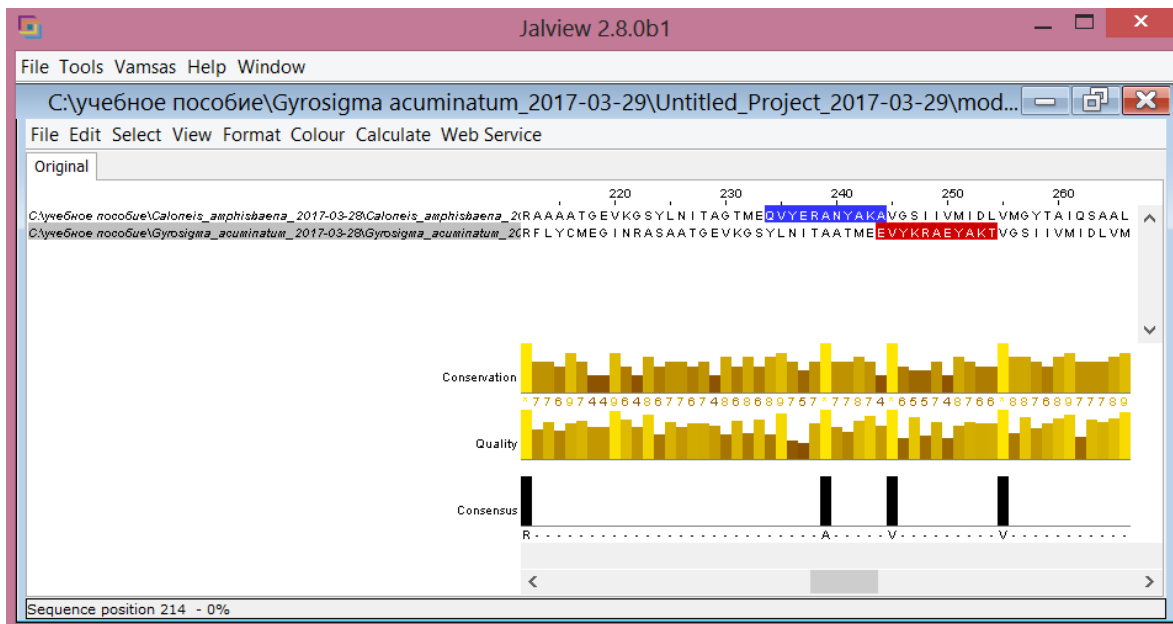


Рис. 35. Выделенные переменные участки белков rbcL двух организмов

6. Выделите оба организма – указатель мыши переместите в левую колонку с названиями организмов, сначала выделите один организм, затем удерживая клавишу Ctrl, выделите второй организм. Нажмите правую клавишу мыши и из контекстного меню выберите последовательно команды – Structure – View all 2 structures (Рис.36).

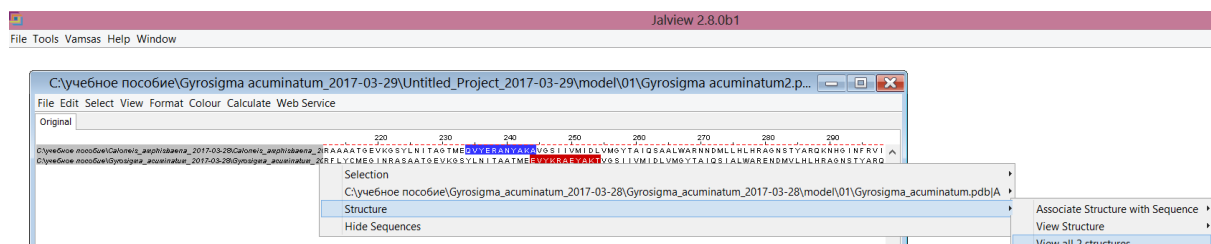


Рис. 36. Выбор 2-х структур для сравнения 3D моделей

7. Сравнение структур 3D моделей *gbcL Caloneis amphibaena* и *gbcL Gyrosigma acuminatum* приведено на рис.37. Как видно из рис.37 выделенные фрагменты расположены на альфа спиральях.

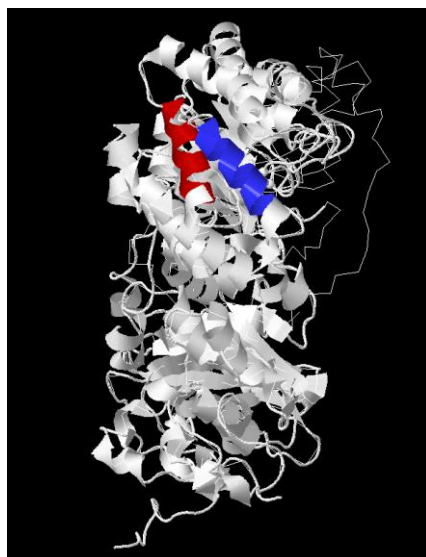


Рис. 37. Сравнение структур 3D моделей *gbcL Caloneis amphibaena* и *gbcL Gyrosigma acuminatum*

## ЗАДАНИЯ

1. Выполните множественное выравнивание белков *rbcL Navicula cryptocephala*, (AGG86640), *rbcL Navicula pupula* (AGT21406), *rbcL Navicula radiosa* (AIT92055) в программе CLUSTAL Omega (<http://www.ebi.ac.uk/Tools/msa/clustalo/>). Выделите один из переменных участков сравниваемых белков.
2. Выполните построение 3D моделей белков *rbcL Navicula cryptocephala*, (AGG86640), *rbcL Navicula pupula* (AGT21406), *rbcL Navicula radiosa* (AIT92055) с использованием онлайн программы SWISS-MODEL (<https://swissmodel.expasy.org>) или I-TASSER (<http://zhanglab.ccmb.med.umich.edu/I-TASSER/>). Сохраните 3D модели на локальный диск.
3. Проанализируйте структуры 3D моделей *Navicula cryptocephala*, *Navicula pupula*, *Navicula radiosa* в программе JalView (<http://www.jalview.org/Download>) или Chimera (<https://www.cgl.ucsf.edu/chimera/>). Выделите разным цветом переменные участки в структуре белков *rbcL Navicula cryptocephala*, *rbcL Navicula pupula*, *rbcL Navicula radiosa*.
4. Проведите сравнение структур 3D моделей *rbcL Navicula cryptocephala*, *rbcL Navicula pupula*, *rbcL Navicula radiosa* в программе JalView (<http://www.jalview.org/Download>) или Chimera (<https://www.cgl.ucsf.edu/chimera/>). Опишите основные элементы вторичной структуры белка на 3D модели, на которых расположены переменные участки.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Диатомовые водоросли // Энциклопедический словарь Брокгауза и Ефрона: в 86 т. (82 т. и 4 доп.).– СПб., 1890–1907.
2. Банк данных пресноводной альгофлоры Молдовы (<http://algae.md/>).
3. Арефьев В.А., Лисовенко Л.А. Англо-русский толковый словарь генетических терминов, 1995.– 407 с.
4. Guo L., Sui Z., Shu Z., Yuanyuan R., Yuan L. Comparison of potential diatom ‘barcode’ genes (the 18S rRNA gene and ITS, COI, rbcL) and their effectiveness in discriminating and determining species taxonomy in the Bacillariophyta // *Int J Syst Evol Microbiol*, 2015. – V. 65.– P.1369–1380.
5. Dean P., Redgrave P., Westby G.W. Event or emergency? Two response systems in the mammalian superior colliculus // *Trends Neurosci*, 1989.– V.12.– P.137–147.
6. The National Center for Biotechnology Information (<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/>).
7. Локальное парное выравнивание аминокислотных последовательностей EMBOSS Water ([http://www.ebi.ac.uk/Tools/psa/emboss\\_water/](http://www.ebi.ac.uk/Tools/psa/emboss_water/)).
8. Глобальное парное выравнивание аминокислотных последовательностей EMBOSS Needle ([http://www.ebi.ac.uk/Tools/psa/emboss\\_needle/](http://www.ebi.ac.uk/Tools/psa/emboss_needle/)).
9. Studer G., Schmidt T., Kiefer F., Cassarino T.G., Bertoni M., Bordoli L., Schwede T. SWISS-MODEL: modelling protein tertiary and quaternary structure using evolutionary information. *Nucleic Acids Research*, 2014 (<http://swissmodel.expasy.org/>).
10. Waterhouse A.M., Procter J.B., Martin D.M.A., Clamp M., Barton G. J Jalview Version 2 - a multiple sequence alignment editor and analysis workbench// *Bioinformatics*, 2009.– V.25 (9).– P.1189-1191 (<http://www.jalview.org/>).

*Учебное издание*

**Фролова Л.Л., Хусаинов А.М.**

**Построение и сравнение 3D моделей белков  
Диатомовых водорослей на примере  
*rbcL Caloneis amphisbaena* и *rbcL Gyrosigma acuminatum***

**Учебное пособие**

**По курсу «Биоинформатика»**

Подписано в печать 05.04.2017

Бумага офсетная. Печать цифровая.

Формат 60x84 1/16. Гарнитура «Times New Roman». Усл.печ.л. 2,2

Уч.-изд. Л.1,1. Тираж 52 экз. Заказ 27/4

Отпечатано с готового оригинал-макета

В типографии Издательства Казанского университета

420008, г.Казань, ул.Профессора Нужина, 1/37

тел. (843) 233-73-59, 233-73-28