



Московский государственный университет
имени М.В.Ломоносова
Биологический факультет
кафедра Микологии и альгологии

Диатомовые водоросли весенних временных водоемов Томилинского лесопарка (Московская область)

Выпускная квалификационная работа бакалавра

Выполнила:

Корнилова Полина Николаевна

студентка 4 курса

Научные руководители:

н.с., к.б.н. **Чудаев Д.А.**,

с.н.с., к.б.н. **Кокаева Л.Ю.**

2025 г.

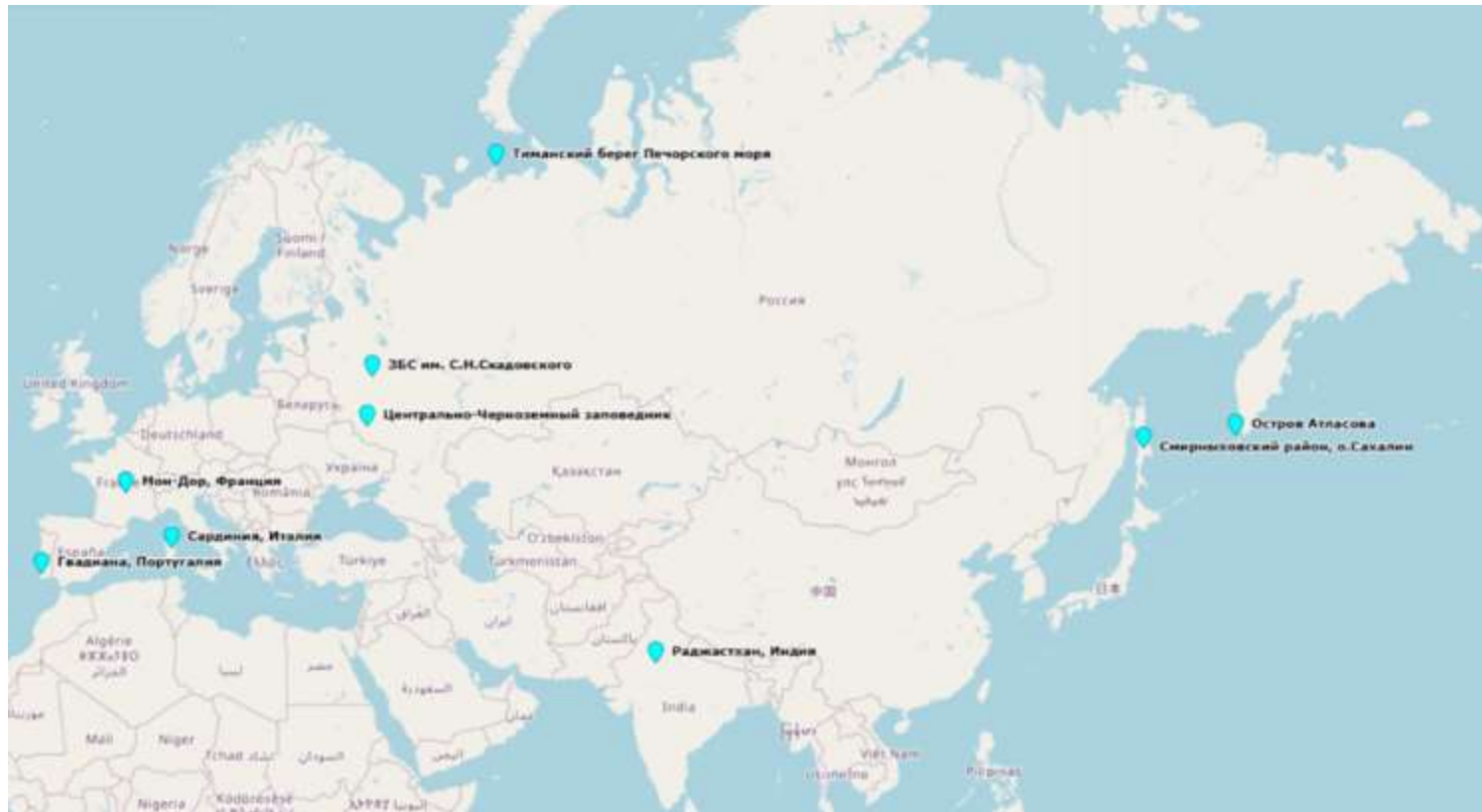
Введение

- Временные водоемы — водные объекты, которые характеризуются периодическим пересыханием.
- В умеренном климате временные водоемы получают большую часть воды весной, во время таяния снега. Приблизительно к середине лета временные водоемы полностью пересыхают (Williams, 1987).



Введение

- Изученность диатомовой биоты в временных водоемах Евразийского континента:



Актуальность работы

- Видовое разнообразие диатомовых водорослей эфемерных водоемов на сегодняшний день исследовано плохо (Blanco et al., 2013; Riato et al., 2014);
- Для территории Московской области имеются единичные публикации по видовому разнообразию диатомовых водорослей временных водоемов (Павленко и др., 2005; Цеплик, Чудаев, 2023; Chudaev, Levkov, 2023).

Цель и задачи

Цель:

- Изучить особенности структуры сообществ диатомовых водорослей весенних временных водоемов на примере луж Томилинского лесопарка.

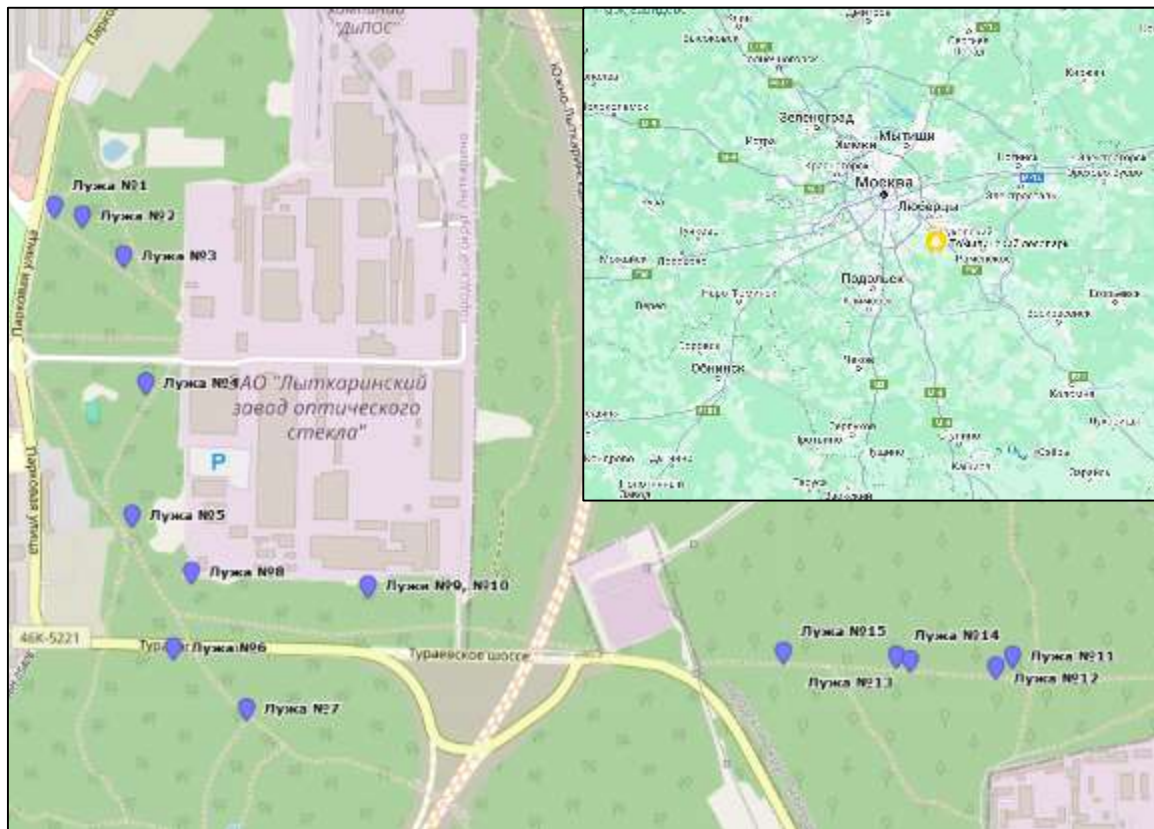


Задачи:

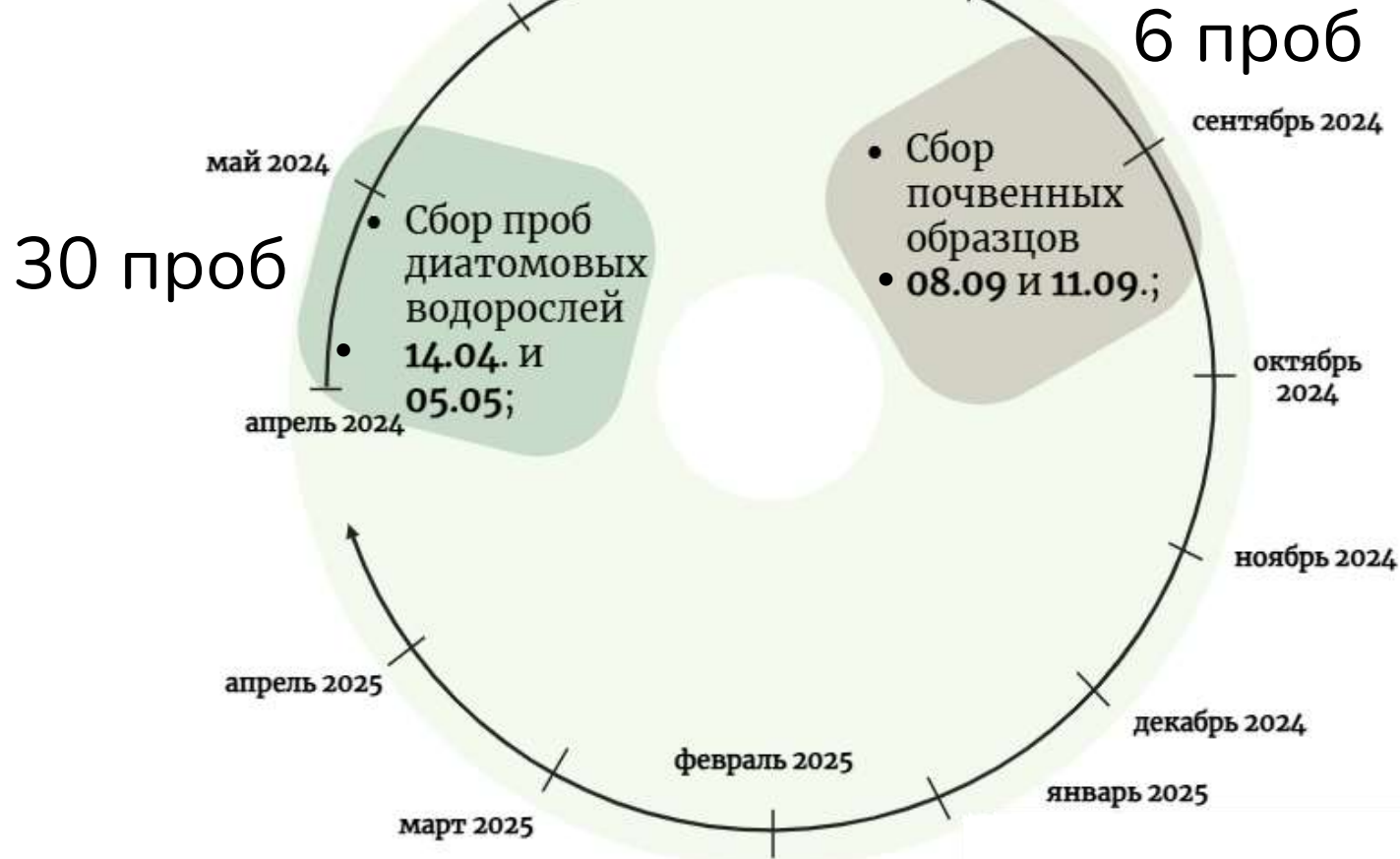
- 1) Изучить особенности видового состава диатомей временных водоемов Томилинского лесопарка;
- 2) Оценить относительное обилие видов диатомовых во временных водоемах;
- 3) Проанализировать связь структуры сообществ диатомовых с факторами окружающей среды;
- 4) Сравнить видовой состав диатомей, развивавшихся во временных водоемах весной, с видовым составом диатомовых почвы на месте высохшего водоема и контрольных образцов почвы, отобранных вблизи водоема;
- 5) Выделить чистые культуры некоторых видов диатомей и провести их молекулярную идентификацию.

Томилинский лесопарк

- Томилинский лесопарк расположен на территории городского округа Люберцы Московской области.
- В древесном ярусе в местах сбора проб преобладают сосны и лиственные породы.
- Места расположения исследованных временных водоемов (nakarte.me):

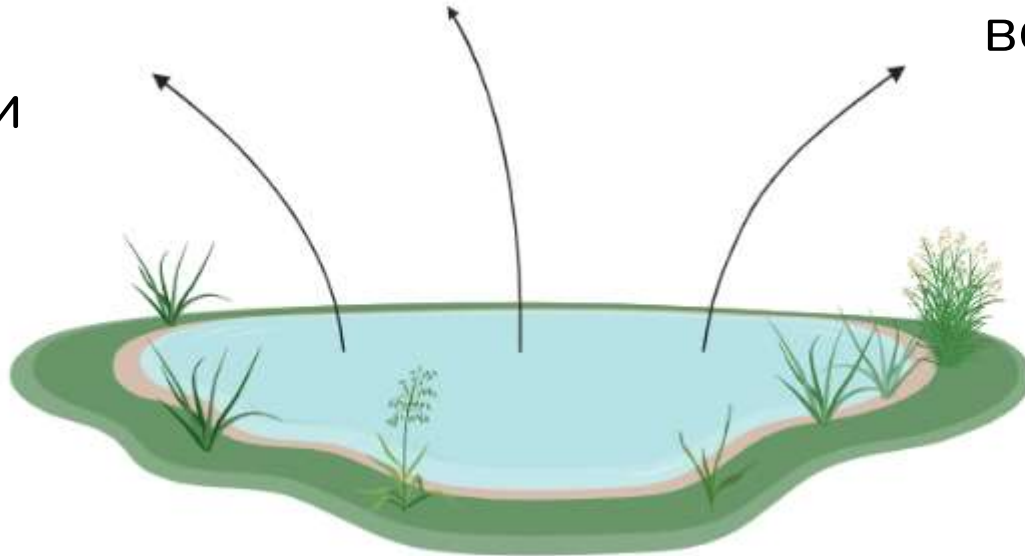


Материалы и методы



Сбор материала весной

- Сбор водных проб диатомей методом смывов с прошлогодних листьев (**14.04.24** и **05.05.24**);
- Измерение pH, электропроводности, температуры воды, глубины водоема;
- Описание сообществ высших растений вблизи водоема;



Характеристики исследованных временных водоемов

- Для изученных луж были характерны значения pH от 5.8 до 8.3.
- Температура воды в лужах варьировала от 11,1 до 15°C.
- Глубина водоемов составляла от 3 до 22 см.
- Электропроводность воды в лужах принимала значения от 0 до 996 $\mu\text{S}/\text{cm}$. По этому параметру изученные водоемы разделялись на две группы: с низкой и средней минерализацией (0-237 $\mu\text{S}/\text{cm}$) и с высокой минерализацией (613-996 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

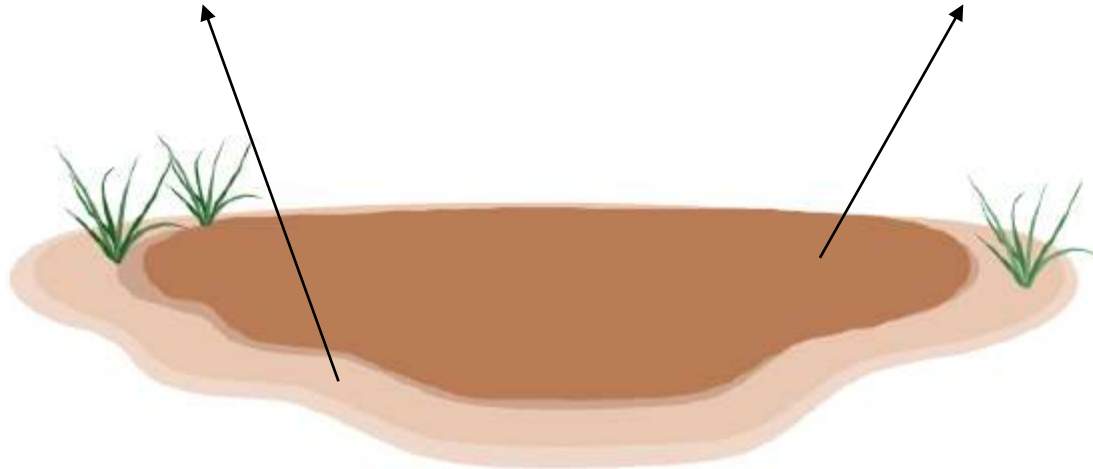


Сбор материалов осенью

Были изучены три водоема после высыхания

Сбор почвенных образцов
рядом с высохшим
водоемом (контроль)
11.09.24

Сбор почвы со дна луж
08.09.24 (опытные образцы)



Камеральная работа

Водные пробы

Изготовление
временных
препаратов
для СМ



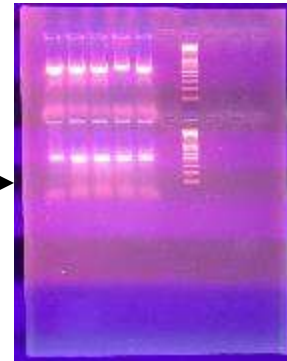
Изготовление
постоянных препаратов
диатомовых водорослей
для световой
микроскопии (СМ)
перекисным методом



Получение
чистых культур
диатомей
выделением на
агаризованную
среду Чу-10



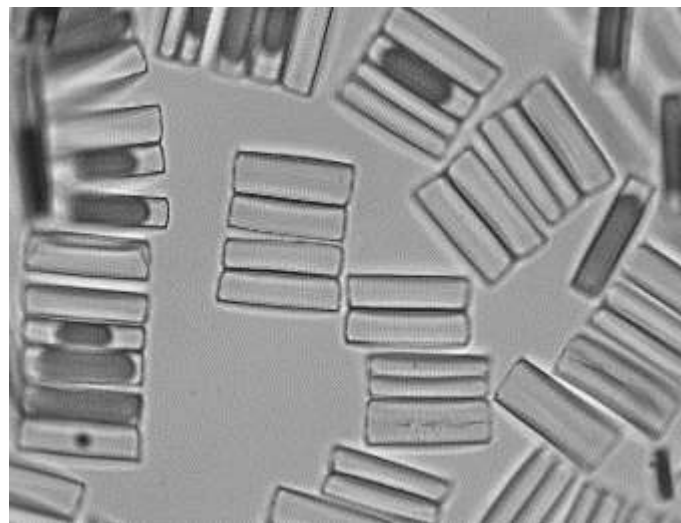
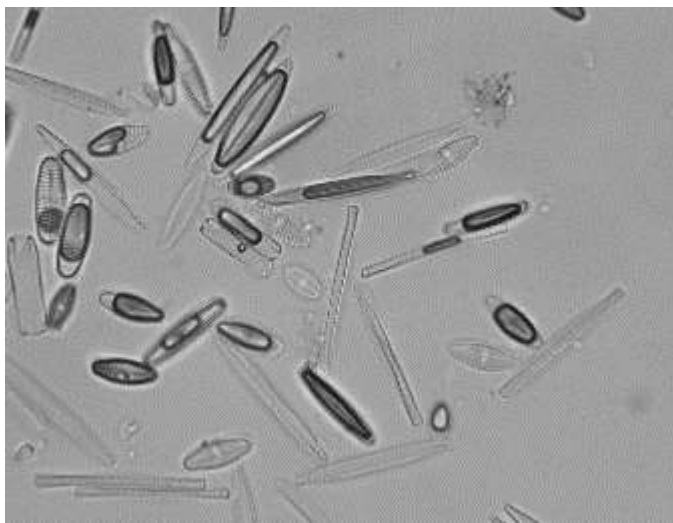
Проведение
молекулярной
идентификации
видов в
культурах (ген
rbcL)



Камеральная работа

Почвенные пробы

- Постановка стекол обрастания (срок инкубации – 4 недели).
- Из стекол были изготовлены постоянные препараты (прокаливанием) для световой микроскопии.

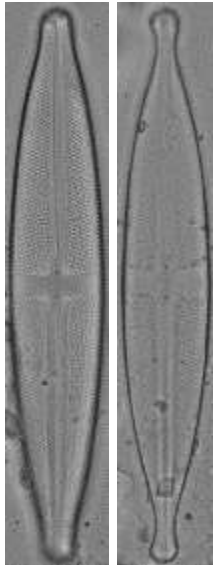


Результаты и обсуждение

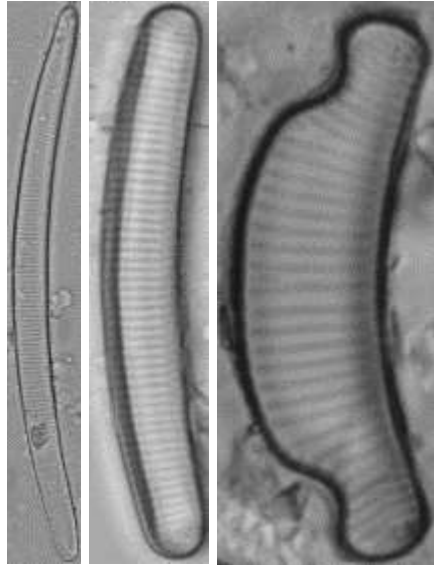
- В результате работы в 13 временных водоемах Томилинского лесопарка было обнаружено **72** вида диатомовых водорослей из **23** родов, **17** семейств, **9** порядков и **2** классов (по системе Guiry, Guiry, 2025).
- В двух водоемах диатомовые водоросли не были найдены.

Результаты и обсуждение

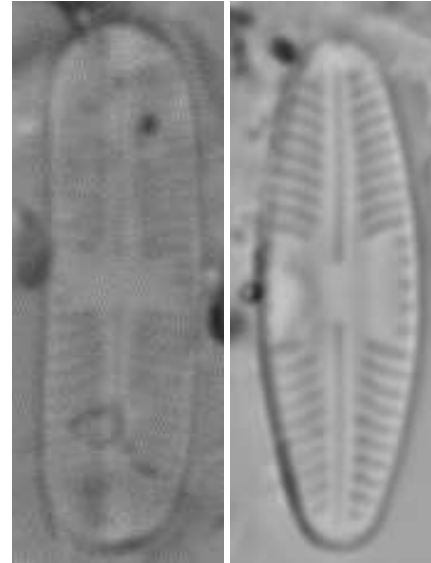
- Наиболее широко представленными по числу видов родами диатомей оказались *Pinnularia* (10 видов), *Stauroneis* (8 видов), *Eunotia* (7 видов) и *Sellaphora* (7 видов).



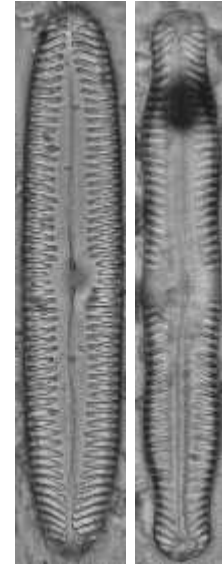
Stauroneis



Eunotia



Sellaphora



Pinnularia

Результаты и обсуждение

- Таксономический состав отличался от водоема к водоему, но в большинстве луж лидирующее положение рода *Pinnularia* сохранялось.

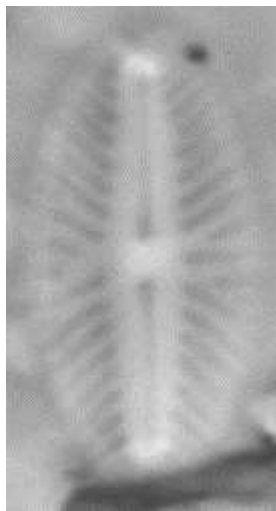
Сравнение луж по числу видов родов *Pinnularia*, *Stauroneis*, *Eunotia* и *Sellaphora*:

Род/водоем	1	2	3	5	6	7	8	10	11	12	13	14	15
<i>Pinnularia</i>	4	6	6	1	5	1	6	2	7	3	6	7	5
<i>Stauroneis</i>	1	1	0	0	1	1	3	1	1	3	4	2	4
<i>Eunotia</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	4	3	6	6	4
<i>Sellaphora</i>	3	1	2	3	1	0	4	2	2	2	2	2	3

Экологические особенности выявленных видов

Виды эфемерных водоемов:

- *Mayamaea atomus*



Почвенные виды:

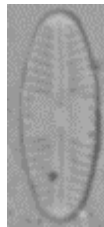
- *Hantzschia abundans*



- *Hantzschia amphioxys*



- *Sellaphora subseminulum*



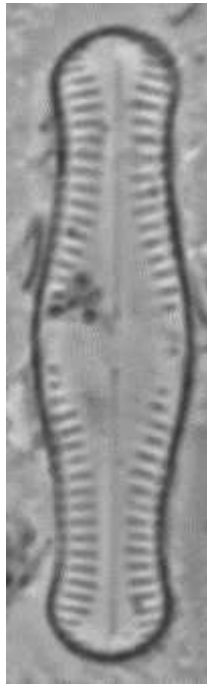
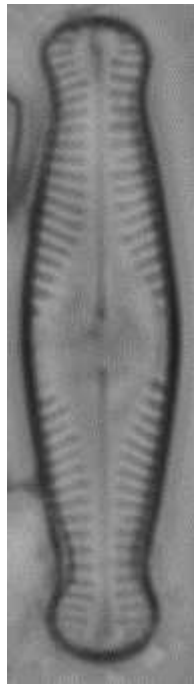
Сравнение результатов с литературными данными

- Несмотря на слабое перекрывание видовых списков, ведущее положение родов пеннатных диатомовых *Pinnularia*, *Gomphonema* и *Eunotia* по числу видов отмечалось во временных водоемах других регионов: временном пруду “Laqui de Seignavoux” во Франции (Beauger et al., 2020), эфемерных водоемах острова Атласова (Никулина, 2008) и Нижнелуцинском болоте (Павленко и др., 2005).

Виды-доминанты

- Определение видов-доминантов проводилось по шкале Крогеруса (Гелашвили, 2006): доминантными считали виды, относительное обилие которых (% числа створок от 300) выше 5%, субдоминантными — виды со значениями относительного обилия от 2 до 5%.
- В изученных водоемах было найдено 16 видов-доминантов: *Adlafia belyakovae*, *Aulacoseira italica*, *Chamaepinnularia krookii*, *Chamaepinnularia plinskii*, *Eunotia bilunaris*, *Eunotia botuliformis*, *Eunotia septentrionalis*, *Fragilariforma nitzschioides*, *Gomphonema* cf. *sarcophagus*, *Gomphonema productum*, *Hantzschia calcifuga*, *Meridion constrictum*, *Nitzschia palea* var. *debilis*, *Nitzschia palea* var. *palea*, *Pinnularia nodosa* var. *nodosa* и *Surirella angusta*.
- Также в большинстве луж были выражены сообщества субдоминантов.

Виды-доминанты



*Fragilariforma
nitzschioides*

*Chamaepinnularia
krookii*

*Nitzschia palea
var. palea*

*Pinnularia
nodosa var.*

*Meridion
constrictum*

*Chamaepinnularia
plinskii*

*Nitzschia palea
var. debilis*

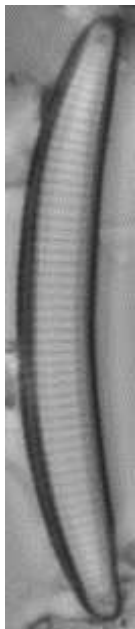
*Aulacoseira
italica*

nodosa

Виды-доминанты



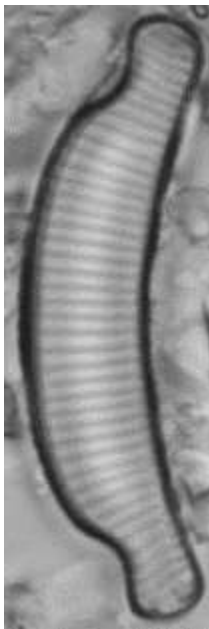
*Adlafia
belyakovae*



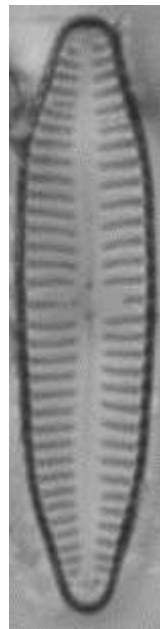
*Eunotia
bilunaris*



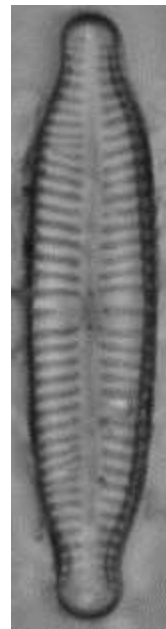
*Eunotia
botuliformis*



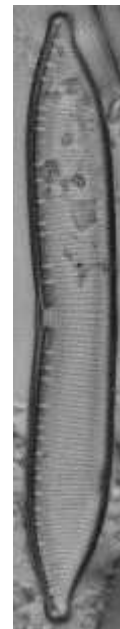
*Eunotia
septentrionalis*



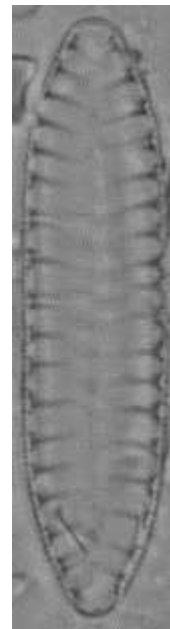
*Gomphonema
cf. sarcophagus*



*Gomphonema
productum*



*Hantzschia
calcifuga*



*Surirella
angusta*

Экологические особенности выявленных видов-доминантов

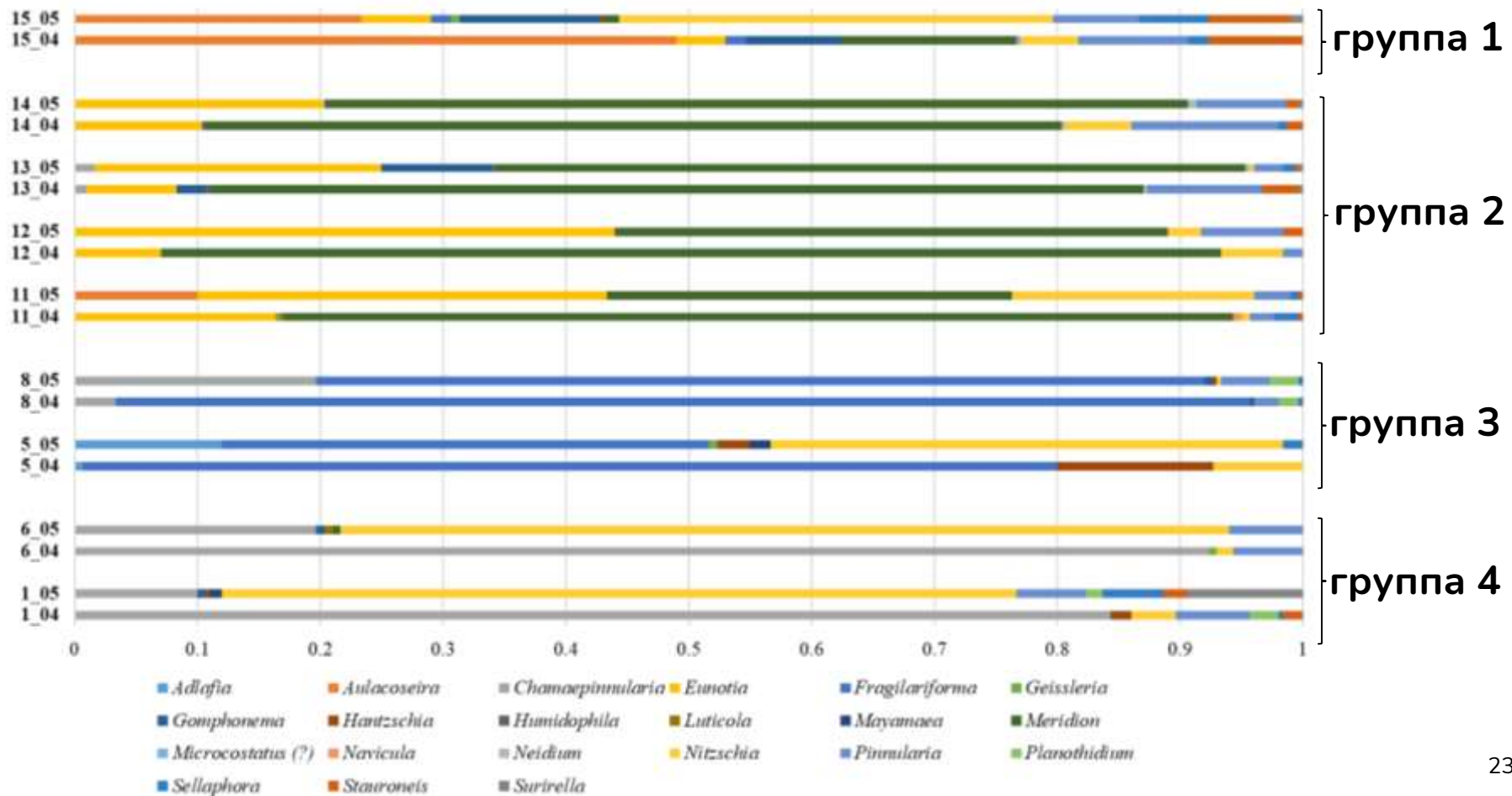
- Спорообразующие виды диатомовых водорослей, встреченные во временных водоемах:

- 1) *Meridion constrictum* (1-2);
- 2) *Aulacoseira italica* (3-4);

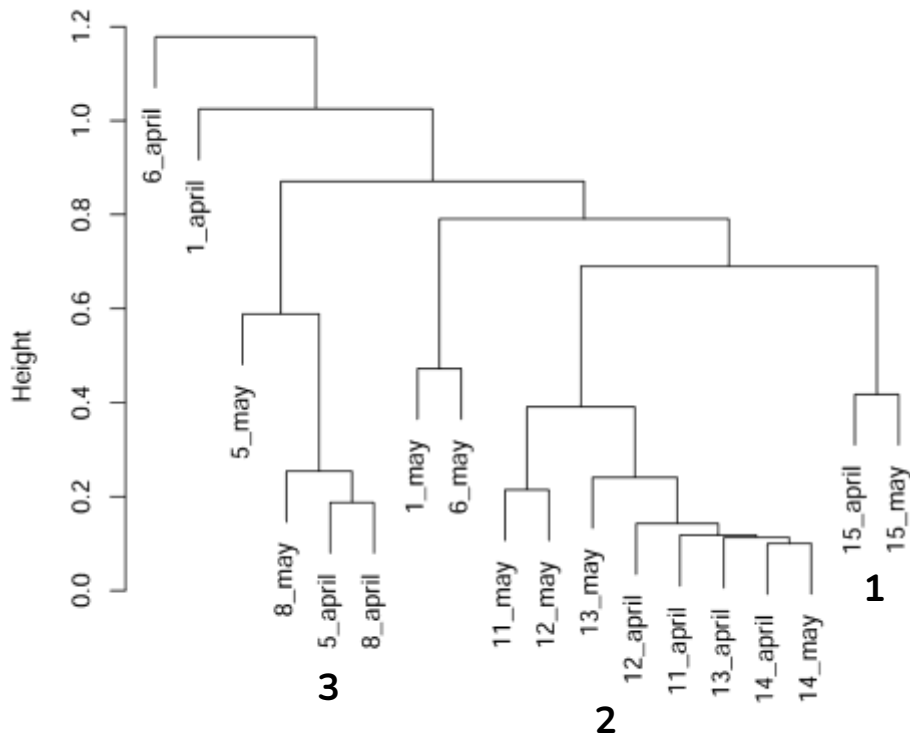


Структура сообществ диатомовых на родовом уровне

№ водоема_месяц сбора



Кластеризация изученных временных водоемов по относительному обилию видов диатомей



Группа 1: доминировал вид *Aulacoseira italica* (хотя в пробе из второго сбора данный вид немного уступал по относительной численности *Nitzschia palea* var. *palea*).

Группа 2: максимального относительного обилия достигали виды *Meridion constrictum* и *Eunotia septentrionalis*.

Группа 3: наибольшего относительного обилия достигал вид *Fragilariforma nitzschoides*.

Группа 4: (не формирует единого кластера) в водоемах №1 и 6 доминировали *Chamaepinnularia plinskii* и *Chamaepinnularia krookii* (первый сбор); *Nitzschia palea* var. *debilis* (второй сбор).

Влияние различных факторов на состав доминантных видов диатомей изученных временных водоемов

Номер водоема	Особенности сообщества диатомовых	Удельная электропроводность воды	Близость к а/м шоссе	Наличие сосны в древостое
15	<i>Aulacoseira</i> - доминант, развитое сообщество субдоминантов	Низкая или средняя (0-237µS/cm)	На удалении	Нет
14	<i>Meridion</i> - доминант, <i>Eunotia</i> - доминант или субдоминант			Есть
13				
12				
11				
8	<i>Fragilariforma</i> - доминант	Высокая (613-996 µS/cm)	Близко	Нет
5				
6	<i>Chamaepinnularia</i> - доминант, в краткосрочной временной перспективе (2 недели) первая доминантная позиция переходит к <i>Nitzschia</i>			
1				

25

Структура сообществ диатомовых и географическая близость водоемов

Группа 1:

Meridion

Группа 2:

Aulacoseira

Группа 3:

Fragilariforma

Неподписанные

кружки:

Chamaeripinnularia

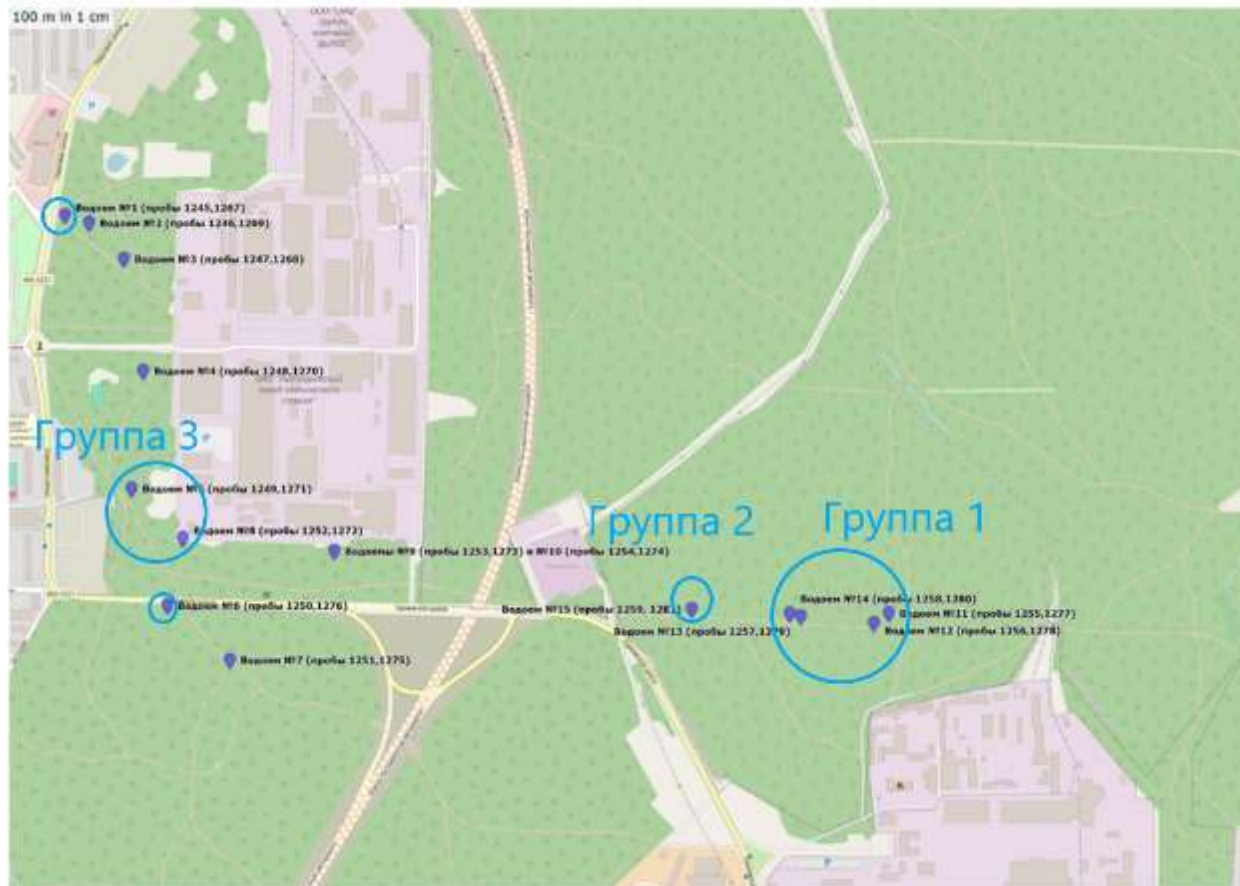
и *Nitzschia*,

расположены

вблизи

автомобильной

дороги.

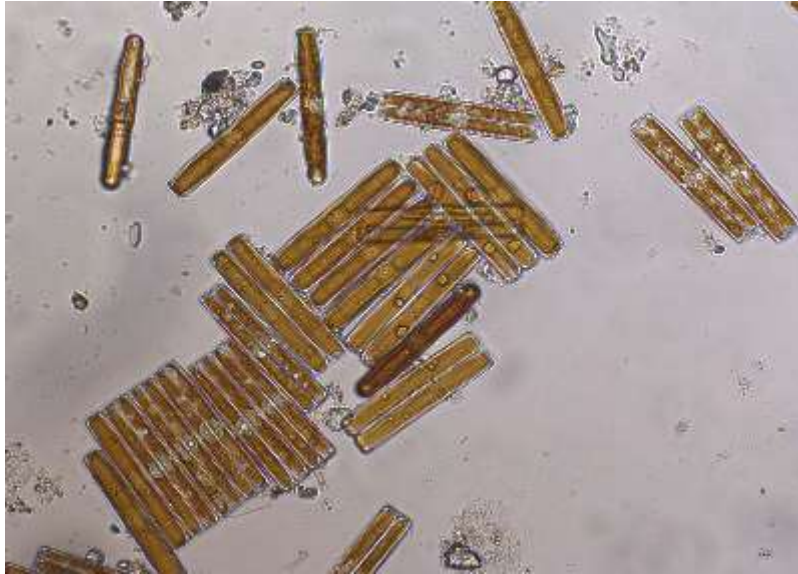


Что происходит при высыхании водоема?



Результаты анализа стекол обрастания

- На месте 3 высохших луж методом стекол обрастания было идентифицировано 32 вида диатомей, а в образцах контрольной почвы рядом с лужами — 8.

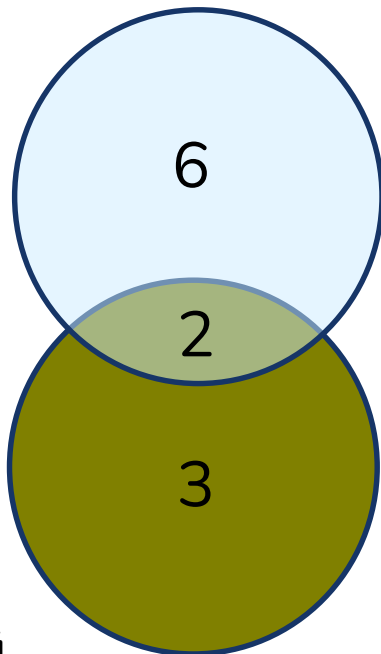


Примеры фотографий временных препаратов диатомовых водорослей из почвенных проб

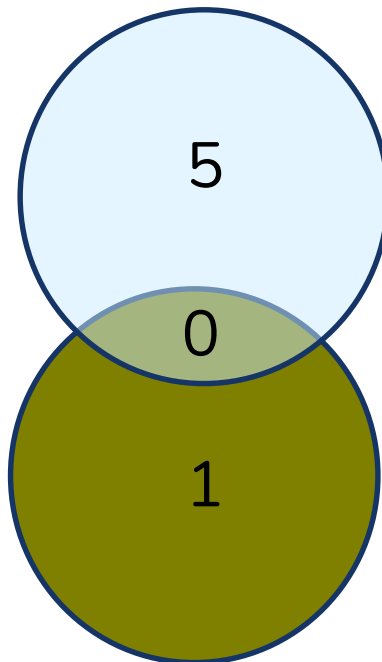
Результаты анализа стекол обрастания

Почва на
месте
высохшей
лужи
(число
видов)

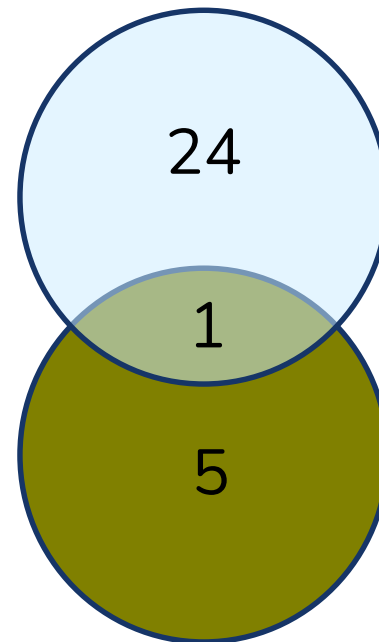
Лужа 5



Лужа 6



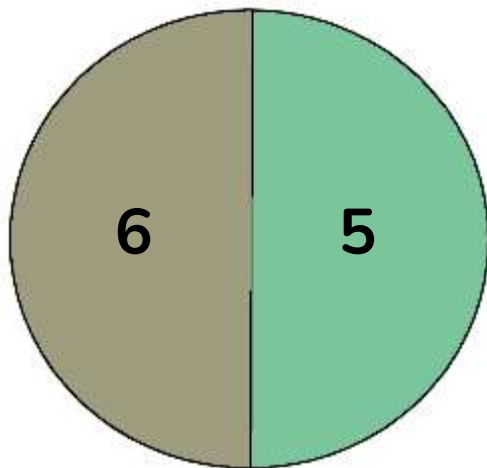
Лужа 8



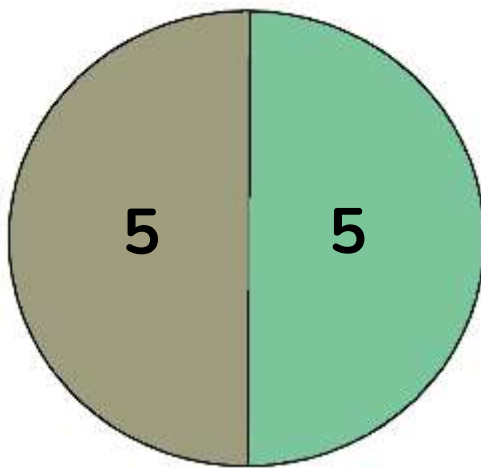
Контрольный
образец
почвы

На стекла обрастания из почвы на месте луж выделяются по большей части виды, развивавшиеся в лужах весной

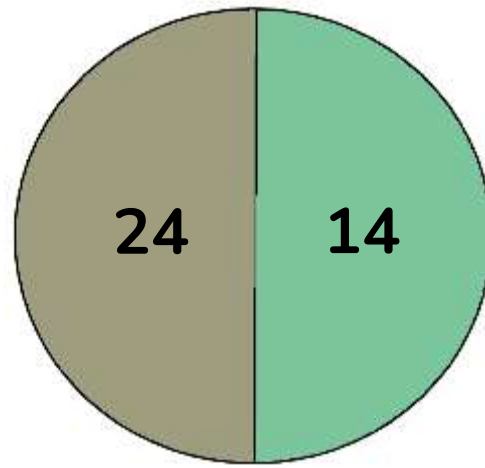
Лужа 5



Лужа 6



Лужа 8



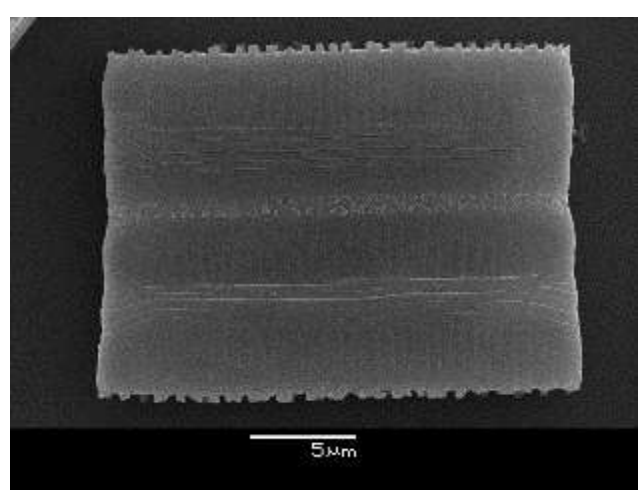
- число видов, встреченных в опытных образцах почвы на стеклах обрастания;



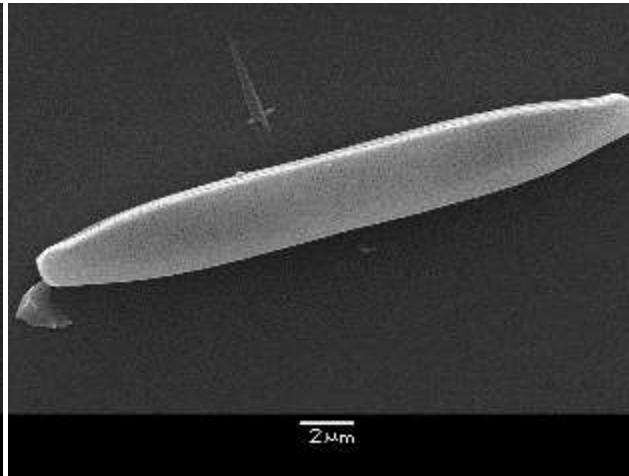
- из них встречено в весенних пробах того же водоема;

Чистые культуры диатомовых водорослей

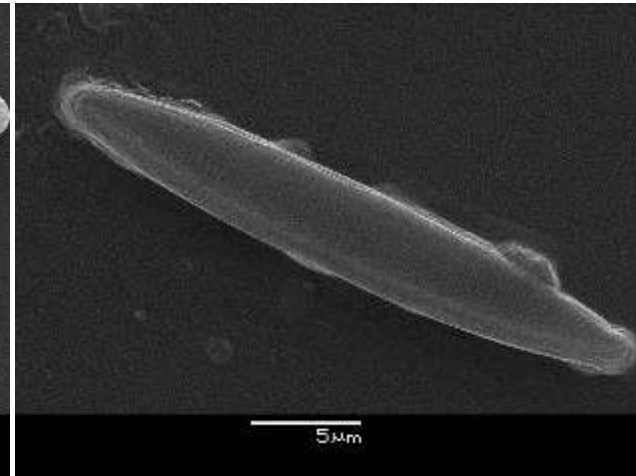
- Выделенные альгологически чистые культуры были идентифицированы по морфологическим данным как *Fragilariforma nitzschioides* (3 штамма), *Nitzschia acidoclinata* (1 штамм) и *Nitzschia palea* (1 штамм).



Fragilariforma nitzschioides



Nitzschia acidoclinata



Nitzschia palea

Молекулярная идентификация видов

- Для двух из пяти штаммов процент совпадения последовательностей гена **rbcL** с референсами составил 100%. Для трех штаммов были показаны результаты, не соответствующие морфологическому определению, что, скорее всего, связано с недостаточным количеством последовательностей видов рода *Fragilariforma* в генном банке.

Номер штамма	Вид (определение по морфологии)	Вид (по молекулярным данным)	% совпадения последовательностей rbcL	Номер референсного сиквенса
1252-4	<i>Fragilariforma nitzschioides</i>	<i>Fragilariforma virescens</i>	98.89	HQ912492.1
1252-2-1	<i>Fragilariforma nitzschioides</i>	<i>Fragilariforma virescens</i>	98.88	HQ912492.1
1249-2-2	<i>Fragilariforma nitzschioides</i>	<i>Fragilariforma virescens</i>	99.2	HQ912492.1
1250-3-1	<i>Nitzschia palea</i>	<i>Nitzschia palea</i>	100	MN718796.1
1257-3-1	<i>Nitzschia acidoclinata</i>	<i>Nitzschia acidoclinata</i>	100	KC736602.1 32

Выводы

1. Видовой состав диатомовых водорослей изученных временных водоемов Томилинского лесопарка представлен 72 видами из 23 родов, 17 семейств, 9 порядков и 2 классов. Число встреченных видов в каждом отдельном водоеме варьировало в широких пределах (от 1 до 26). Наиболее широко представленными по числу видов родами диатомей оказались *Pinnularia* (10 видов), *Stauroneis* (8 видов), *Eunotia* (7 видов) и *Sellaphora* (7 видов).
2. Наибольшего относительного обилия во временных водоемах достигали следующие виды и разновидности диатомовых водорослей: *Aulacoseira italica*, *Chamaepinnularia krookii*, *Chamaepinnularia plinskii*, *Fragilariforma nitzschoides*, *Meridion constrictum*, *Nitzschia palea* var. *debilis*, *Nitzschia palea* var. *palea*. Доминантные виды по большей части сохраняли свое ведущее положение в краткосрочной временной перспективе, за исключением *Aulacoseira italica* и представителей рода *Chamaepinnularia*.

Выводы

3. На основании состава доминантов девять временных водоемов, в которых наблюдалось обильное развитие диатомовых, были разделены на четыре группы: 1 — с преобладанием *Aulacoseira*, 2 — с преобладанием *Meridion*, 3 — с преобладанием *Fragilariforma*, 4 — с преобладанием *Chamaepinnularia/Nitzschia*.
4. Структура сообществ диатомовых временных водоемов может быть связана с такими факторами, как электропроводность воды, близость водоемов к шоссе и друг к другу, состав древостоя.

Выводы

5. В почве на месте трех пересохших водоемов отмечены в основном виды, развивавшиеся во время обводнения водоема весной. Списки видов для образцов почвы на месте водоема и рядом с ним практически не совпадали.
6. С помощью молекулярных методов по последовательности гена *rbcL* подтверждена морфологическая идентификация штаммов *Nitzschia palea* и *Nitzschia acidoclinata*. Для штаммов, морфологически идентифицированных как *Fragilariforma nitzschioides* молекулярный анализ показал высокое сходство последовательностей *rbcL* с *F. virescens*, что может быть связано с недостатком данных по видам этого рода в генном банке.



Спасибо за внимание!



Вместо путешествий в далекие страны, на что так жадно кидаются многие, приляг к лужице, изучи подробно существа – растения и животных, ее населяющих, в постепенном развитии и взаимно непрестанно перекрещающихся отношениях организации и образа жизни, и ты для науки сделаешь несравненно более, нежели многие путешественники, издавшие великолепно описания и изображения собранных естественных произведений.

К. Ф. Рулье

Благодарности

- В заключение хотелось бы выразить искреннюю благодарность моему научному руководителю, научному сотруднику кафедры микологии и альгологии, **Дмитрию Алексеевичу Чудаеву**, за терпение, поддержку и помощь на всех этапах выполнения работы, от сбора материалов до написания текста.
- Также хотелось бы поблагодарить старшего научного сотрудника кафедры **Людмилу Юрьевну Кокаеву** за помощь в проведении молекулярной идентификации культур диатомовых водорослей, за ценные советы по написанию работы и подготовке презентации.
- Также хотелось бы поблагодарить **Дорохову Марину Феликсовну**, старшего научного сотрудника кафедры геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета. В ходе выполнения камеральной части работы советы Марины Феликсовны помогли освоить методику работы с почвенными образцами и применить ее для постановки стекол обрастания.
- Также хотелось бы поблагодарить **сотрудников межкафедральной лаборатории электронной микроскопии (МЛЭМ)** биологического факультета МГУ за помощь в ходе работы на электронном микроскопе JEOL JSM-6380LA. 38

Виды-доминанты в водоемах с различным содержанием электролитов

Водоем	S	Апрель	% (от 300)	S	Май	% (от 300)
11	0	<i>Meridion constrictum</i>	77,3	174	<i>Meridion constrictum</i>	33
12	103	<i>Meridion constrictum</i>	86,3	105	<i>Meridion constrictum</i>	45
2	158	<i>(Pinnularia eifeliana)</i>		212	<i>Nitzschia palea var. debilis</i>	83,7
15	160	<i>Aulacoseira italica</i>	49	155	<i>Nitzschia palea var. palea</i>	31
13	161	<i>Meridion constrictum</i>	76	237	<i>Meridion constrictum</i>	61
14	177	<i>Meridion constrictum</i>	69,7	163	<i>Meridion constrictum</i>	70
3	188	<i>Meridion constrictum</i>	79	191		
5	613	<i>Fragilariforma nitzschioides</i>	79,3	-	<i>Fragilariforma nitzschioides</i>	39,7
8	621	<i>Fragilariforma nitzschioides</i>	92,3	900	<i>Fragilariforma nitzschioides</i>	72,3
1	741	<i>Chamaepinnularia plinskii</i>	84,3	737	<i>Nitzschia palea var. debilis</i>	40,3
6	888	<i>Chamaepinnularia krookii</i>	92,3	996	<i>Nitzschia palea var. debilis</i>	72,3

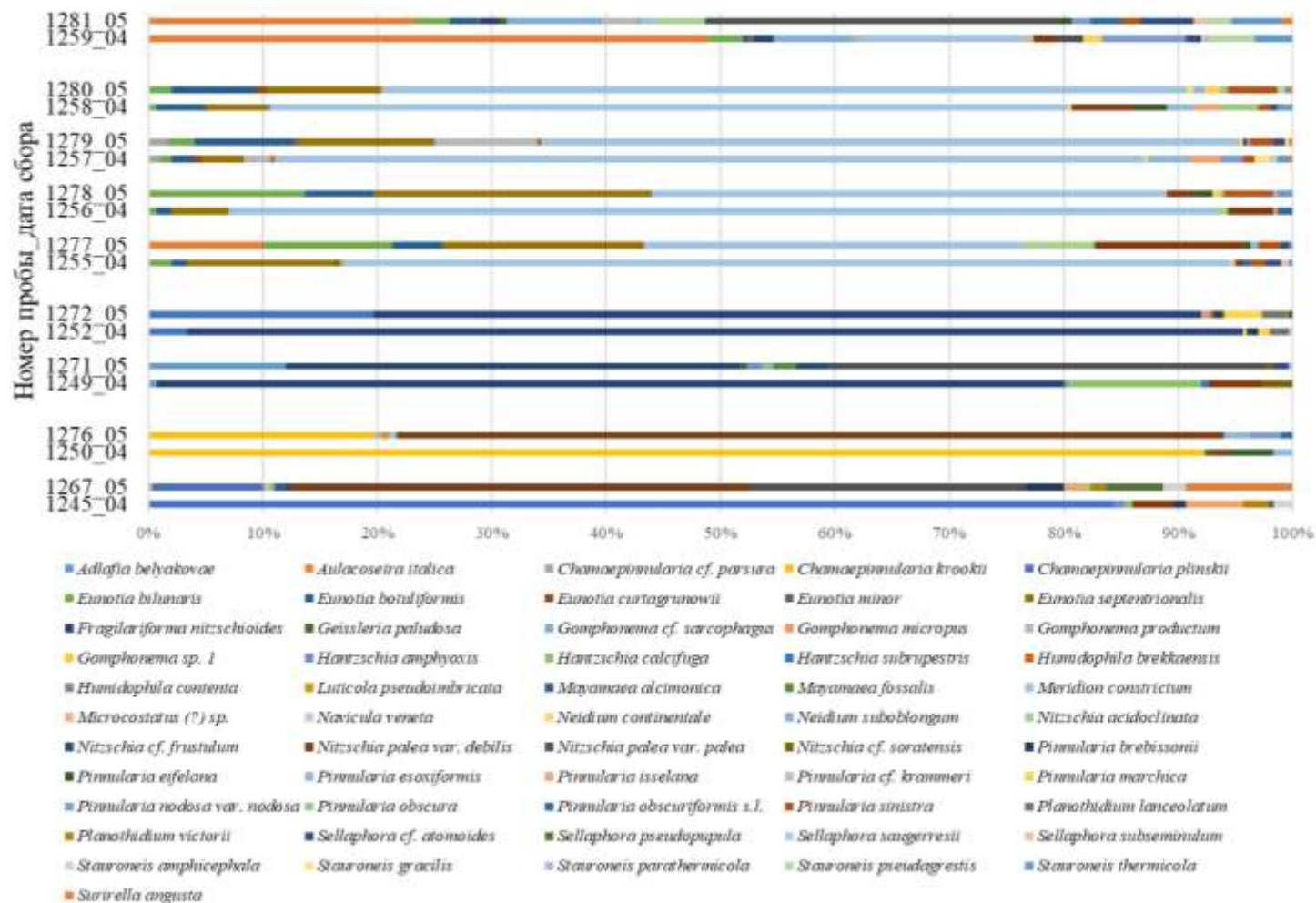
Представленность родов диатомей, найденных в лужах Томилинского лесопарка, в других временных водоемах

№	Рода, представленные в лужах Томилинского лесопарка	Нижнелуцинское болото (Павленко и др., 2005)	Эфемерные водоемы острова Атласова (Никулина, 2008)	Временный пруд “Laqui de Seignavoux” (Beauger et al., 2020)
1	<i>Aulacoseira</i>		+	
2	<i>Chamaepinnularia</i>		+	
3	<i>Diploneis</i>		+	
4	<i>Eunotia</i>	+	+	+
5	<i>Gomphonema</i>	+	+	+
6	<i>Hantzschia</i>	+	+	
7	<i>Meridion</i>	+	+	
8	<i>Navicula</i>	+	+	
9	<i>Neidium</i>		+	+
10	<i>Nitzschia</i>	+	+	+
11	<i>Pinnularia</i>	+	+	+
12	<i>Planothidium</i>		+	
13	<i>Sellaphora</i>	+		+
14	<i>Stauroneis</i>	+	+	+
15	<i>Surirella</i>		+	

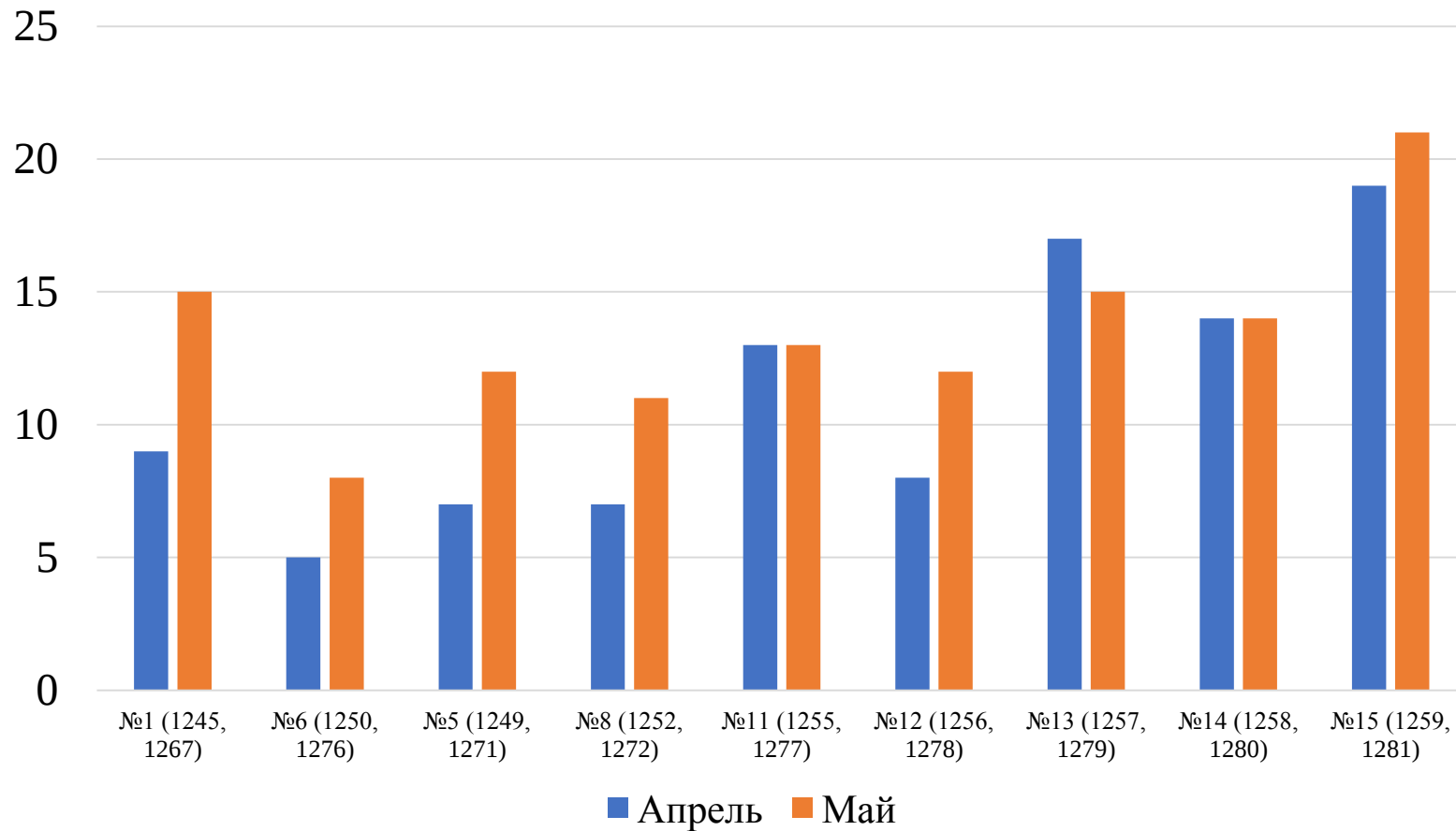
Абсолютное обилие видов диатомей, найденных в препаратах с общим числом створок меньше 300

Вид\Водоем	№2	№7		№10
	1246	1251	1275	1274
<i>Hantzschia calcifuga</i>				23
<i>Hantzschia subrupestris</i>				11
<i>Nitzschia palea</i> var. <i>debilis</i>	13			18
<i>Pinnularia eifelana</i>	40	47	103	
<i>Pinnularia esoxiformis</i>	22			
<i>Pinnularia isselana</i>				15
<i>Pinnularia marchica</i>	17			
<i>Pinnularia obscuriformis</i> s.l.	27			
<i>Sellaphora</i> cf. <i>atomoides</i>				18
<i>Sellaphora subseminulum</i>				7
<i>Stauroneis pseudagrestis</i>				5
<i>Surirella angusta</i>	2			
Общее число створок на препарат	119	47	103	97

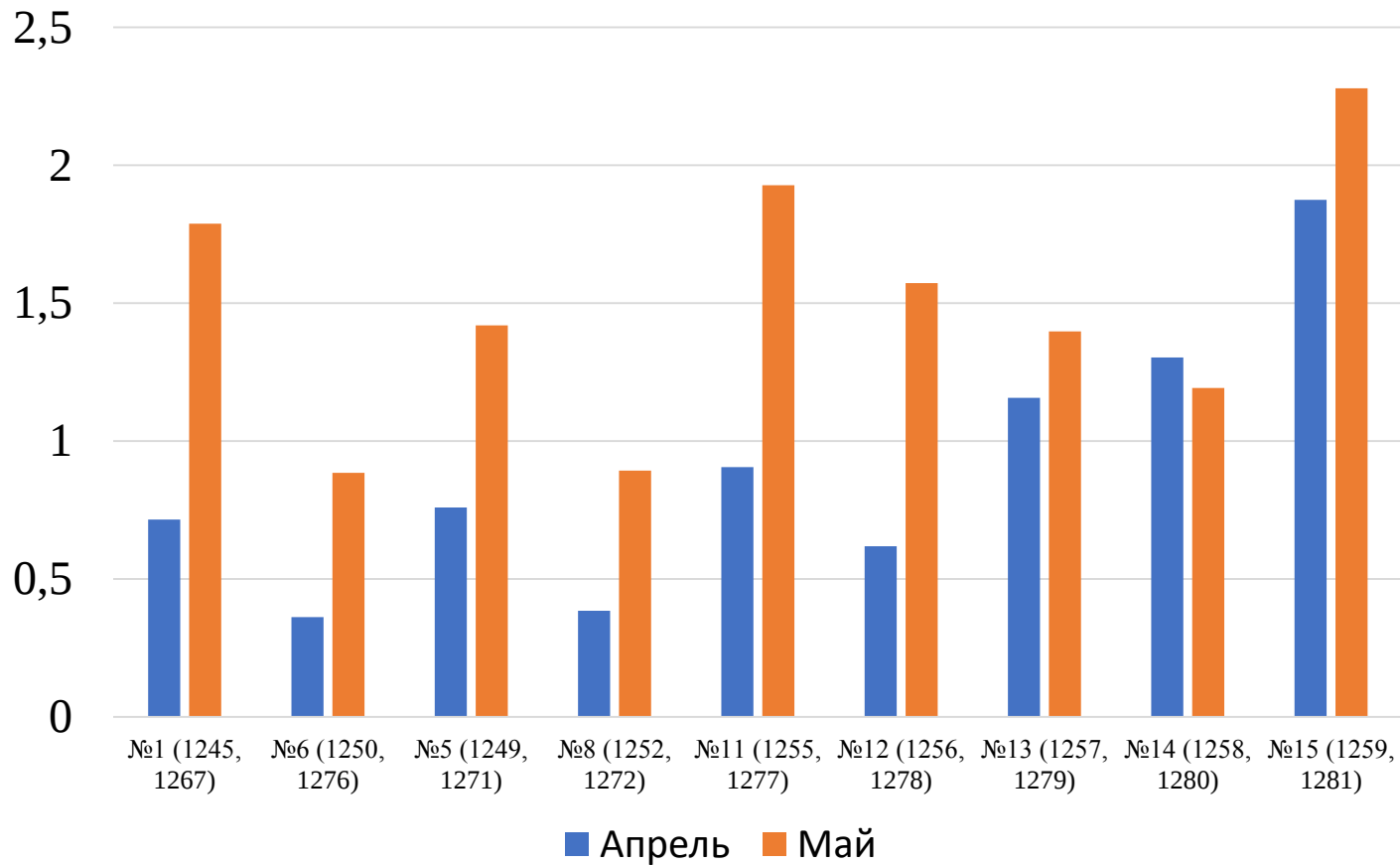
Сравнение видовых составов сообществ диатомовых водорослей



Видовое богатство в апреле и в мае



Индекс Шеннона (H-index)



Приспособления к высушиванию

- Одним из самых негативно влияющих на выживание клеток параметров временных водоемов является высушивание (Souffreau et al., 2010).
- Приспособления диатомей к высушиванию включают:
 - Продукцирование слизи (*Cymbella*, *Gomphonema*) (Quevedo-Ortiz et al., 2024).
 - Способность перемещаться в более влажные области (*Navicula*, *Nitzschia*, *Surirella*) (Quevedo-Ortiz et al., 2024).
 - Образование покоящихся стадий (Round, et al., 1990).
 - Накопление в клетке белков стресса, антиоксидантов, различных осмопротекторов, образование внеклеточных полисахаридов, изменение фосфолипидного профиля жирных кислот в мембранах (Souffreau et al., 2013).