

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

Институт экологии и географии  
Кафедра географии

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
\_\_\_\_\_ Г. Ю. Ямских  
подпись                      инициалы, фамилия  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

05.03.02 География

05.03.02.02 Физическая география и ландшафтоведение

**Фитолитный анализ и создание базы данных фитолитов для  
реконструкции растительности южного склона 100-метровой террасы реки  
Енисей**

Научный руководитель	_____	<u>проф., д-р геогр. наук</u>	<u>Г. Ю. Ямских</u>
	подпись, дата	должность, учёная степень	инициалы, фамилия
Выпускник	_____		<u>Ю. С. Тутов</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия
Нормоконтролер	_____		<u>И. А. Вайсброт</u>
	подпись, дата		инициалы, фамилия

Красноярск 2023

## РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа по теме «Фитолитный анализ и создание базы данных фитолитов для реконструкции растительности южного склона 100-метровой террасы реки Енисей» содержит 66 страниц текстового документа, 38 иллюстраций, 1 приложение, 27 использованных источников.

**ФИТОЛИТ, ФИТОЛИТНЫЙ АНАЛИЗ, КЛАССИФИКАЦИЯ ФИТОЛИТОВ, БАЗА ДАННЫХ ФИТОЛИТОВ, ПАЛЕОГЕОГРАФИЯ.**

Цель: создание базы данных фитолитов, с помощью которой появится возможность идентифицировать фитолиты найденные в почве и отнести их к конкретному виду.

Задачи:

1. Ознакомиться с историей становления метода в России и за рубежом;
2. Изучить основы методики фитолитного анализа;
3. Рассмотреть имеющиеся базы данных фитолитов;
4. Собрать растительный материал южного склона 100-метровой террасы реки Енисей и подготовить его к микроскопированию;
5. Классифицировать найденные фитолиты и составить базу данных.

Объект: Кремниевые частицы – фитолиты.

Предмет: сам метод изучения фитолитов и база данных, как результат для палеогеографических реконструкций южного склона 100-метровой террасы р. Енисей.

Актуальность метода фитолитного анализа состоит в том, что при восстановлении древнего растительного покрова, не всегда подходит спорово-пыльцевой метод, особенно для восстановления фитоценоза степей и пустынь, а также при восстановлении локальных природных условий. Помимо этого, он недостаточно разработан в России и мире, но в то же время этот является востребованным для использования в палеогеографических, палеоклиматических и археологических реконструкциях.

Результатом работы стала составленная база данных фитолитов растений южного склона 100-метровой террасы р. Енисей, в которую были внесены 39 уникальных форм фитолитов. Они были определены согласно международной классификации фитолитов.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 История исследований фитолитов .....	5
1.1 Иностранные исследования фитолитов .....	6
1.2 Отечественные исследования фитолитов.....	9
2 Фитолитный анализ и его роль в палеогеографических реконструкциях ландшафтов.....	15
2.1 Получение фитолитов для анализа.....	17
2.1.1 Выделение фитолитов из растительного материала .....	17
2.1.2 Выделение фитолитов из почв.....	19
2.2 Информативность метода и его роль в палеогеографических реконструкциях .....	20
3 Базы данных фитолитов .....	25
3.1 Понятие о базах данных .....	25
3.2 Зарубежные базы данных фитолитов.....	28
3.3 Российские базы данных фитолитов.....	33
4 Сбор и определение материала.....	36
4.1 Описание места сбора материала .....	36
4.2 Определение и список видов .....	39
5 Классификация и создание базы данных фитолитов .....	41
5.1 Описание и классификация фитолитов .....	41
5.2 Примеры найденных фитолитов.....	44
5.3 Составление базы данных фитолитов.....	47
Заключение .....	49
Список использованных источников .....	51
Приложение А База данных фитолитов растительности южного склона 100-метровой террасы реки Енисей.....	55

## ВВЕДЕНИЕ

Метод фитолиитного анализа – это метод, основанный на изучении кремниевых образований в клетках растений (фитолиитов), позволяющий идентифицировать эти растения. При сравнении найденных фитолиитов в почве с фитолиитами, выделенными из растений можно определить фитоценоз прошлого, что позволяет реконструировать палеорастительность, палеоклимат и палеоландшафты. Поэтому важно изучить как можно больше и как можно подробнее фитолииты растений, так как это поможет в палеогеографических и археологических исследованиях. Распределение фитолиитов по почвенному профилю позволяет реконструировать изменение локальной растительности во времени [11].

Актуальность метода фитолиитного анализа состоит в том, что при восстановлении древнего растительного покрова, не всегда подходит спорово-пыльцевой метод, особенно для восстановления фитоценоза степей и пустынь, а также при восстановлении локальных природных условий. Помимо этого, он недостаточно разработан в России и мире, но в то же время этот является востребованным для использования в палеогеографических, палеоклиматических и археологических реконструкциях.

Целью работы является создание базы данных фитолиитов, с помощью которой появится возможность идентифицировать фитолииты найденные в почве и отнести их к конкретному виду.

Для достижения данной цели были поставлены задачи:

1. Ознакомиться с историей становления метода в России и за рубежом;
2. Изучить основы методики фитолиитного анализа;
3. Рассмотреть имеющиеся базы данных фитолиитов;
4. Собрать растительный материал южного склона 100-метровой террасы реки Енисей и подготовить его к микрокопированию;
5. Классифицировать найденные фитолииты и составить базу данных.

Объектом изучения являются кремниевые частицы – фитолииты.

Предмет – сам метод изучения фитолиитов и база данных, как результат для палеогеографических реконструкций южного склона 100-метровой террасы р. Енисей.

## 1 История исследований фитоцитов

Историю изучения фитоцитов делят на 4 этапа:

- этап открытия и исследования (1833-1895),
- этап ботанических исследований (1895-1936),
- этап фитоцитных исследований в экологии (1955-1975),
- современный этап (1975 - наши дни).

Первое открытие кремниевых частиц принадлежит Чарльзу Дарвину (рисунок 1) и его коллеге Эренбергу К. Г. Чарльз Дарвин в путешествии по Атлантическому океану прибыл на острова Кабо-Верде. Там он заметил и собрал мелкую пыль, которая царапала астрономические инструменты. Далее он отправил материал немецкому ученому Эренбергу К. Г., который обнаружил сами фитоциты [26].

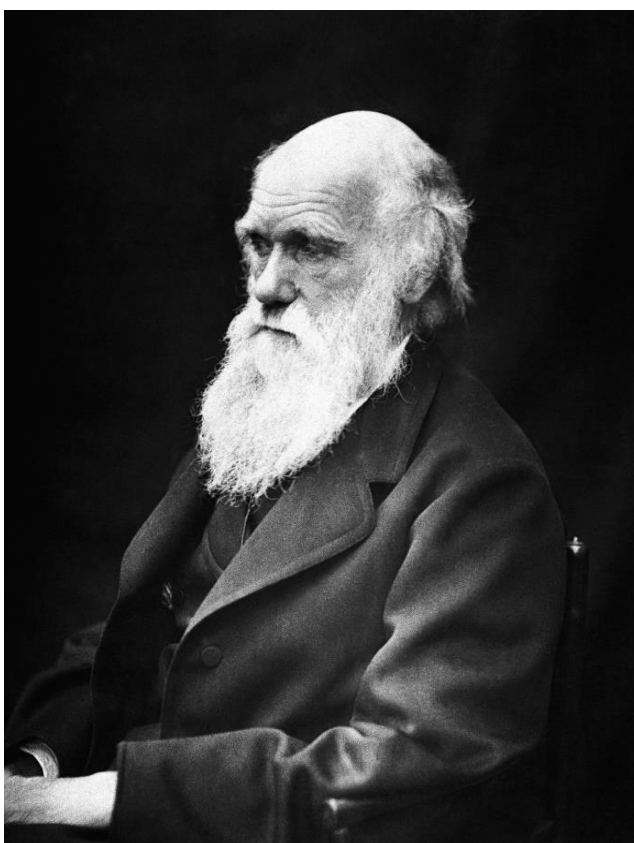


Рисунок 1 – Фотография Чарльза Дарвина [19]

Оказалось, что найденные фитоциты принадлежали растениям Северной Африки. Эринберг описал свойства фитоцитов, которые были доступны для изучения на том техническом уровне. Первая научная работа по кремниевым частицам вышла в 1835 году.

### **1.1 Иностранное исследование фитоцитов**

После этого Эринберг (рисунок 2) стал выделять фитоциты из растений и публиковать по этой теме работы. В это время Эринберг не мог объяснить природу образования кремниевых частиц, поэтому его работам уделялось мало внимания. В 1836 году была выяснена опалообразная природа фитоцитов, и это считается прорывом в этой области исследования, после чего началось бурное обсуждение производства фитоцитов растениями [6, 22].

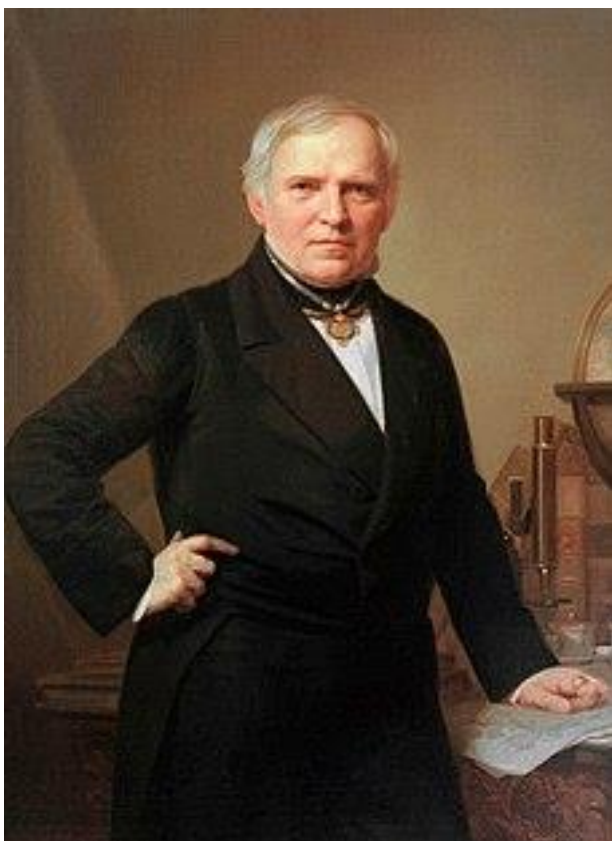


Рисунок 2 – Фотография Кристиана Эринберга [18]

В 1900 годах, на втором этапе становления метода, фитолиты стали обсуждать ученые в рамках анатомии и физиологии растений. Исследуется процесс их образования и накопления в клетках растений. К этому времени Эринберг К. Г. создал первую базу данных фитолитов различных растений, проклассифицировал их и использовал данные для изучения природы образования геологических объектов [22].

Впервые в палеоэкологических реконструкциях фитолитный анализ был применен учеными США, Австралии, Великобритании. Симпсон Ф. из Бангорского университета в Великобритании определил ценность метода в палеогеографических, палеоклиматических и палеоэкологических реконструкциях. Это и положило начало третьего этапа изучения фитолитов. Тогда же на территории США и Австралии начали изучать частицы целинных земель [22].

Позже, метод фитолитного анализа стал применяться для археологических реконструкций. Впервые в археологии метод был применен Шелленбергом Н. С. при раскопках телля Анау, в Казахстане. Там благодаря фитолитам было доказано, что местные жители выращивали культурные злаки. Последующие работы иностранных ученых 1970-ых годов твердо установили, что данные полезны в археологии и антропологии. Фитолиты находили среди керамических обломков на уже известных стоянках древних людей [22].

Сегодня исследования фитолитов остаются важным инструментом археологии, антропологии и наук об окружающей среде. В 1998 году была создана организация «Международного сообщества фитолитных исследований» («International meeting phytolith research») (рисунок 3) [23].



Рисунок 3 – Логотип IPS [23]

В 2013 году организация была создана заново и существует по сей день под названием IPS («International Phytolith society») и руководством профессора географии университета Сент-Клауд в США, штат Миннесота Михаила Блинникова (рисунок 4).



Рисунок 4 – Фотография Михаила Блинникова [21]

Важной целью IPS является повышение стандартизации номенклатуры и измерения фитоцитов благодаря двум постоянным комитетам: Международный комитет по таксономии фитоцитов (ICPT) и Международный комитет по морфометрии фитоцитов (ICPM). Так же организация проводит множество



конференций, посвящённых фитолитам. Так же, одной из основных целей IPS является создание форума, на котором специалисты, работающие в различных дисциплинах, но связанных с изучением кремниевых частиц, могут обсуждать различные вопросы касательно фитолитов. В связи с этим, исследования фитолитов и их применения сильно ускорились [23].

## 1.2 Отечественные исследования фитолитов

В России фитолиты стали известны примерно в то же время, когда Эринберг публиковал свои работы. Отечественных ученых, в частности Эйхвальда Э. И. (рисунок 5) на тот момент интересовал вопрос генезиса черноземов. Он обратился к немецкому ученому, для того чтобы тот провёл фитолитный анализ образцов чернозёмных почв. Эринберг, сделал вывод о лесном происхождении этих образцов почвы, о чём и написал российский ученый в своем труде «Палеонтология России», который вышел в 1851 году [6].



Рисунок 5 – Фотография Эдуард Эйхвальд [20]

Рупрехт Ф. И. (рисунок 6) в 1864 году, так же применил фитолитный анализ в исследовании генезиса чернозёмов. Но, в свою очередь, он сравнивал фитолиты, которые на тот момент называли фитолитариями, из почвы с фитолитами из, самих степных злаков. Обнаружив совпадение форм образцов фитолитарий из почв и из самих злаков, он пришел к выводу о важной роли злаков в формировании чернозёма [6, 15].



Рисунок 6 – Фотография Франца Рупрехта [5]

На этом этапе становления метода, исследователи имели завышенное ожидание о результатах, к примеру, предполагалось, что по форме фитолитарии можно определять растение непосредственно до вида. Так же не развитость

научного метода, статистики и приборов не позволяли оценивать фитоолитные комплексы в целом, поэтому изучались отдельные фитоолиты.

На этом этапе такие недостатки привели к скептическому отношению ученых тех времен, к выводам сделанных методом фитоолитного анализа. Скептицизм выражался в трудах многих ученых. Например, Богданов М. Н. в 1871 году выражал мысль о том, что выводы Рупхерта не верны, так как частицы подобной формы остаются и у множества не степных, а лесных злаков. Крутицкий П. Я. говорил, что скорее всего выводы о принадлежности фитоолитарий к степным злакам не верны, потому что он искал среди всех частиц именно их, и таким образом нашел что искал [6].

Но есть исследователи, которые не проявляли скептицизм в отношении фитоолитного анализа. Одним из таких исследователей был Докучаев В. В. (рисунок 7).

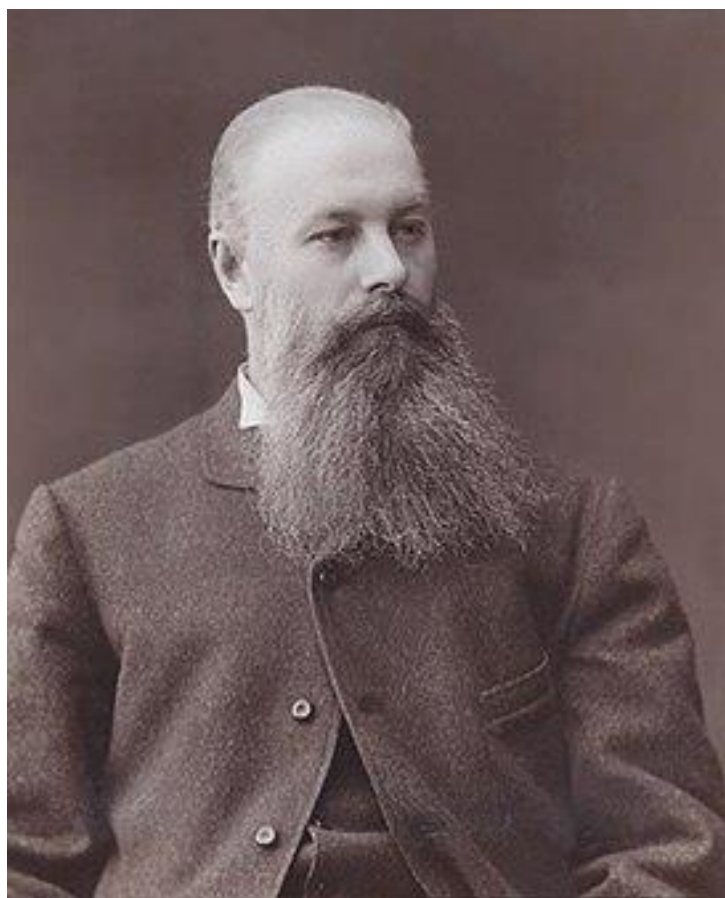


Рисунок 7 – Фотография Василия Докучаева [17]

Он в своей работе «Русский чернозём» высоко оценил результаты работ Рупрехта, а также назвал его «отцом научной разработки вопроса». Помимо этого, Докучаев рассмотрел вопрос миграции фитоцитов в почве. Он предположил, что фитоциты попадают в почву либо просачиванием сверху, либо могут принестись с песком или пылью с других мест [10].

Тем не менее, среди ученых были дискуссии на счет этого метода исследования, и общий скепсис не дал стремительно развиваться фитоцитному анализу. Следующая работа по изучению фитоцитов появилась в 1937 году. Далее, среди почвоведов появилось новое микроморфологическое направление исследования почв, которым много занимались Парфенова Е.И. и Ярилова Е.А. В своих работах они изучали фитоциты почв и сравнивали их с фитоцитами растений, как это делал Рупрехт, в частности они выделили фитоциты игл хвойных растений, которые оказались кубической формы. Работы Парфеновой повлияли на английского почвоведов Симпсона Ф., который впоследствии стал изучать фитоциты почв Великобритании [6].

Основываясь количественным распределением фитоцитов по профилю почвы Новоросова Л. Е. сделала выводы о генезисе подзолистых почв. Так как максимальное количество фитоцитов находилось в элювиальном горизонте, а в остальных горизонтах количество было сопоставимо с количеством других пылевых частиц, она сделала вывод об аккумулятивной природе генезиса.

В 1978 году, была опубликована работа Добровольского Г. В. и Шобы С. А., где обзревается данные части работ по фитоцитам, а также анализ фитоцитов почв Ленинградской и Томской областей. Важной деталью их работы является наличие фотографий наиболее типичных форм фитоцитов для почв, сделанных с помощью электронного сканирующего микроскопа, что является новшеством для работ по этой теме.

Как и за рубежом, в СССР в 1980-ые годы фитоцитология получило новое направление исследования – палеоэкологическое. В следующее десятилетие на факультете МГУ были защищены 3 кандидатские диссертации, для которых были проведены фитоцитные анализы почв разных природных зон.

Каманина И. З. статистически обосновала достоверность и результативность выделения фитолистных комплексов для реконструкции фитоценозов. Гольева А. А. (рисунок 8) в своих работах изучала подзолистые почвы и применяла в том числе и фитолиственный анализ. После чего она выпустила монографию «Фитолисты и их роль при исследовании природных и археологических объектов». В этой работе приведены формы фитолистных различных растений умеренного пояса. Составленный Гольевой атлас первый атлас в мире, так как область исследования иностранных ученых, тропический и экваториальный пояса. Боброва Е. К., в своей диссертации изучала почвы сложного генезиса и создала атлас фитолистных 65 знаков и осок. Вместе с этим фитолиственный анализ стал применяться и в археологических исследованиях. Впервые в России для нужд археологии этот метод применился Гольевой [6].



Рисунок 8 – Фотография Александры Гольевой [12]

Когда была создана международная организация по фитолитным исследованиям (IMPR) в 1998 году, ученые России, специализирующиеся на фитолитных исследованиях, стали представлять страну и выступать на конференциях с докладами [6, 14].

Отечественные ученые так же создали организацию. Она называется «Российская ассоциация фитолитологов». Под их началом были проведены 2 школы-конференции в 2016 и 2018 году. В 2016 году она была организована в Новосибирске, целью было распространение знаний о методах реконструкций палеоландшафтов, среди которых были фитолитный, палинологический, диатомовый и другие, и привлечение молодых ученых к активной поисковой работе. В 2018 году конференция в Алтае прошла, как секция большой научно-практической конференции «Проблемы ботаники Южной Сибири и Монголии» [14].

## **2 Фитолитный анализ и его роль в палеогеографических реконструкциях ландшафтов.**

Фитолит – кремниевое образование в различных частях растения, которое формируется в процессе жизнедеятельности биологического организма поглощая кремниевую кислоту из почвы вместе с другими минеральными веществами. Фитолиты накапливаются в клетках организма, в мембране и между клетками [9].

Благодаря тому что клетки растений уникальны от вида к виду, кремний, накапливающийся в клетках, так же, принимает уникальную форму. Это и позволяет извлекать информацию о растении из фитолита. Кремниевые накопления в мембране не принимают уникальных форм и размеров, поэтому не содержат информации. При накоплении кремния между клеток организма создается тонкий слой их кремниевого вещества. Различный размер, легкая растворимость и хрупкость так же не позволяют извлечь достаточное количество информации о растении [9, 11].

Количество фитолитов накапливающихся в растениях различно. К факторам, влияющим на концентрацию фитолита в растении, относятся, в первую очередь условия произрастания. Так, почвах богатых различными соединениями кремния растения накапливают больше фитолитов, чем в иных условиях. К условиям относится и доступность солнечного освещения. Так же на концентрацию влияют возраст растения, густота насаждения и вид растения.

Кремний накапливается в клетках различных частей организма. В листьях деревьев, в колосках злаковых растений, в корнях, в хвое и так далее. При этом количество накопленного материала в частях растений варьируется в зависимости от вида и условий произрастания [15].

Накопленные в растениях фитолиты попадают в почву с опадом растений. В почве встречаются фитолиты разных размеров, и не все размеры подходят для того или иного исследования. Размеры частиц зависят от размера клеток растения, в котором они формировались. Большая часть фитолитов размером

меньше 2 микрон. Не так часто встречаются частицы размеров от 2 до 5 микрон. И 5% фитоцитов будет размером от 5 до 20 микрон. Эти характеристики, опять же, изменяются и зависят от растений. У ели и сосны чаще встречаются фитоциты средних размеров, реже маленькие и большие [8].

Устойчивость фитоцитов в почвах зависит от свойств самой почвы, так в кислых почвах растворение не существенно. В свою очередь в широколиственных лесах формируются фитоциты, которые сильнее подвержены растворимости. Размер частиц тоже влияет на растворимость. Соответственно, чем мельче частицы, тем легче им раствориться. Таким образом происходит накопление более крупных частиц с течением времени. На устойчивость фитоцитов также глубина залегания. В верхних горизонтах почв биохимическая и микробиологическая активность выше, чем в нижних, поэтому фитоциты верхних горизонтов почв сильнее подвержены разрушению, а в нижних накапливаются. Вымывание и выветривание – процессы, которые также влияют на устойчивость фитоцитов. На интенсивность этих процессов оказывают влияние размер фитоцитов, свойства почв, в которых они находятся и условия среды [7].

В большинстве случаев фитоциты прозрачные. В некоторых случаях есть оттенок, который определяется химическим составом. Оттенок бывает розоватый, желтоватый, коричневый и черный. Цвет так же может показывать конкретные специфические условия среды, например пожар. В таком случае фитоциты имеют черный оттенок.

Помимо кремния в составе частиц могут встречаться различные металлы (Fe, K, Na, Al, Cu, Ti, Li и тому подобные) в виде окислов и органические соединения (амины, амиды и другие). Важно отметить, что примеси могут быть обнаружены в фитоцитах не всех растений. Как и другие характеристики наличие примесей и химический состав варьируется от вида к виду. Например, фитоциты мхов часто накапливают алюминий калий и кальций [11].

Формы фитоцитов – это основная диагностическая характеристика. Именно по форме частиц определяют вид в которой они были накоплены. Эта



характеристика кремнезема наиболее разнообразна. Существует множество зарубежных и отечественных атласов, в которых приведена форма и её растение.

Перечень форм очень разнообразный:

- Конусовидные усечённые
- Седловидные
- Двулопастные
- Трапециевидные
- Веерообразные
- Цилиндрические многогранные
- Цилиндрические плоские
- Удлиненные игловидные
- Удлиненные изогнутые
- Овальные
- И так далее

Это лишь малая часть от огромного количества найденных форм фитоцитов. Форма частицы зависит от формы клетки или клеток, в которых она формировалась. В одном и том же растении может встречаться разные формы кремнезема, что негативно сказывается на их информативности [13].

## **2.1 Получение фитоцитов для анализа**

Для формирования картины фитоценоза прошлого, выделяют фитоциты из почвенных горизонтов и сравнивают их с фитоцитами выделенными из растительного материала.

### **2.1.1 Выделение фитоцитов из растительного материала**

Процесс состоит из нескольких этапов: сбор материала, озоление, выделение фитоцитов, просмотр под микроскопом.

1. Сбор материала. Его производят осенью, так как в это время растения накопили больше всего кремния перед опадом. Растения, в случае реконструкции фитоценоза, обрабатывают целиком. В случае археологической реконструкции части растения сортируют и обрабатывают по отдельности (зерна, стебли, листья и так далее).

2. Озоление. Перед озолением растительный материал моют со средствами для этого, чтобы исключить попадание грязи в образцы. После обмывания растения сушат, либо в сушильном шкафу, либо на воздухе. Перед самым озолением растения нарезают на небольшие части и помещают в термостойкую посуду или тигель. Озоляют материал в течении нескольких дней при температуре не выше 400 градусов. Готовность материала к следующим операциям определяют по цвету золы, она должна быть беловатой однородной массой. Озоление проводится, чтобы убрать органические вещества вокруг фитоцитов.

3. Выделение фитоцитов. Зола обрабатывают соляной кислотой и фильтруют на тонких фильтрах для получения чистой, отмытой от примесей массы. Потом золу смывают дистиллированной водой и выпаривают. Полученную чистую золу хранят в пакетиках в сухом виде или в пробирках с глицерином. Таким образом создается коллекция фитоцитов различных растений.

4. Микроскопирование. Для просмотра под микроскопом зола смешивается с каплей глицерина и наносится на предметный столик. Для рассмотрения форм фитоцитов необходимо увеличение x20-x40. Увиденные формы либо зарисовывают, либо фотографируют, используя электронный сканирующий микроскоп [8].

## 2.1.2 Выделение фитоцитов из почв

Фитоциты выделяют из почвы при восстановлении фитоценоза. Процесс также состоит из нескольких этапов: Отбор пробы, мацерация, просмотр под микроскопом.

1. Отбор проб из почвенного разреза берут снизу вверх, чтобы верхний материал не навредил нижним. Пробы берут через 5 сантиметров и, в случае если горизонт более 20 сантиметров, через 10 сантиметров. Так как гумусовый горизонт содержит больше всего фитоцитов, пробы берут в пределах этого горизонта. Это не касается солонцов и подзолистых почв, для них образцы берут и из других горизонтов: надсолонцового и подзолистого. Материал берут по границам горизонтов, а не через 5-10 сантиметров. Проба собирается в пакетик с информацией о глубине образца и названия объекта исследования весом 40-50 грамм.

2. Мацерация. Для фитоцитного исследования пробу переносят в фарфоровый стаканчик массой 40 грамм.

2.1. Удаление органики и дезинтеграция породы. В пробу добавляют 30% перекись водорода или 10% соляную кислоту и кипятят на протяжении 1 часа. Таким образом сжигается органическое вещество и дезинтегрируется порода.

2.2 Удаление илистой фракции. Для удаления осадка прокипячённую пробу охлаждают до 20 градусов и тщательно взмучивают с дистиллированной водой. В течении 30 секунд песчаная фракция оседает и полученную массу переливают в мерный стакан через сито (отверстиями 0,5 миллиметров) до отметки в 8 сантиметров. Осадок и частицы, осевшие на сите, выбрасывают. После 3 часов слой воды 4 сантиметра от верхней границы сливают и вновь доливают дистиллированной воды до 8 сантиметров и примешивают. Через 3 часа процедура повторяется. В целом процедура выполняется от трех до семи раз пока 4 сантиметра воды не просветлятся, то есть пока не удалиться илистая фракция. Оставшийся после этой процедуры осадок высушивается.

2.3 Разделение осадка. Для разделения осадка используется тяжелая жидкость (раствор йодистого калия или раствор йодистого кадмия). Высушенным осадком наполняют 50 миллилитровые центрифужные стаканчики и наполняют тяжелой жидкостью так, чтобы жидкости было в 3 раза больше, чем осадка и перемешивают. После этого стаканчики помещают в центрифугу и запускают процедуру. Центрифуга должна работать 10 минут на скорости 1000 оборотов в секунду. В результате сверху стаканчика будет находиться легкая фракция, в которой и находятся фитоциты. Верхний слой аккуратно сливается на фильтр, откуда дистиллированной водой смывается в другой центрифужный стаканчик.

2.4. Очищение от тяжелой жидкости. Раствор пыли с фитоцитами, воды и тяжелой жидкости центрифугируют 5 минут со скоростью 1500 оборотов в секунду для промывки от тяжелой жидкости. По завершении процесса вода сливается и на дне остается пылевая фракция, обогащённая фитоцитами. Её можно хранить в сухом виде в пакетиках или в пробирках с глицерином.

3. Микроскопирование. Просматривают фитоциты через оптический микроскоп с увеличением  $\times 20$ - $\times 40$ . Возможно использовать электронный микроскоп. Это зависит от поставленной задачи: если требуется изучить морфологические особенности частицы, то электронный подходит лучше, из-за более мощного увеличения изображений, а если требуется количественный анализ, то используют оптический микроскоп [8].

## **2.2 Информативность метода и его роль в палеогеографических реконструкциях**

Процесс восстановления картины прошлых фитоценозов состоит в сравнении фитоцитов полученных из растительного материала и фитоцитов из образцов почв, которые попали туда с опадом некоторое время назад. Диагностика форм фитоцитов из почв дает понять, какое растение его оставило в процессе своей жизнедеятельности.

Каждая характеристика фитолита несет в себе информацию. Так, например, если цвет частицы желтоватый, то, в большинстве случаев, растения развивались в сухих степях. Черный цвет свидетельствует о пожаре, а розоватый о таежной зоне [11].

Размер фитолита говорит о состоянии фитоценоза на момент привнесения частиц в почву. Мелкие кремнистые клетки свидетельствуют о том, что растения в данном месте были угнетены. Средний размер, в свою очередь, говорит о зрелости фитоценоза. Крупный размер фитолитов встречается у пионерной растительности.

Количественная оценка фитолитов позволяет оценить, насколько была развита флора местности. К примеру, если фитолитов в образце более 200, то означает, что они попали в место искусственным образом, как вариант, склад зерна. Когда фитолитов менее 20 единиц, можно заключить, что здесь была пашня или проходила эрозия [9].

На основе форм и количества составлено экологическое деление фитолитов. Суть этого деления заключается в выделении фитолитных комплексов по фитоценозам. Таким образом получают следующие группы фитолитов: Лесные трихомы, луговые трихомы, седловидные формы, тростниковые формы и другие. Фитоценозы прошлого восстанавливают не только по их количеству, но и по отношению количества их форм к другим.

Само собой, количество форм учитывается в отдельном образце профиля почв. Само количество фитолитов в одном профиле, также может дать информацию о фитоценозе прошлого. К примеру, если в профиле содержится небольшое количество фитолитов, то перед нами лесной фитоценоз, а если их количество много больше, то скорее всего луг.

Примеры диагностических форм фитолитов:

Кремниевые копии лесных трихом представляют собой вытянутые частицы с заостренной осью. Пример на рисунке 9.

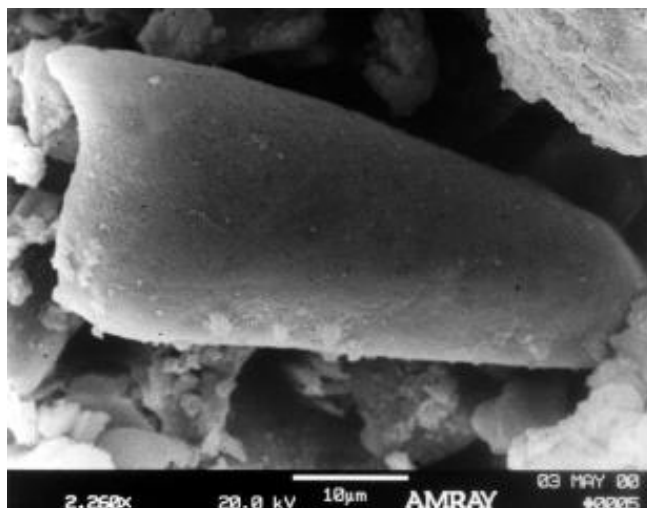


Рисунок 9 – Пример фитолита лесной трихомы [8]

Кремниевые копии луговых трихом имеют вытянутую форму с, так называемыми лопастями на конце, которых может быть от двух до семи. Пример на рисунке 10.

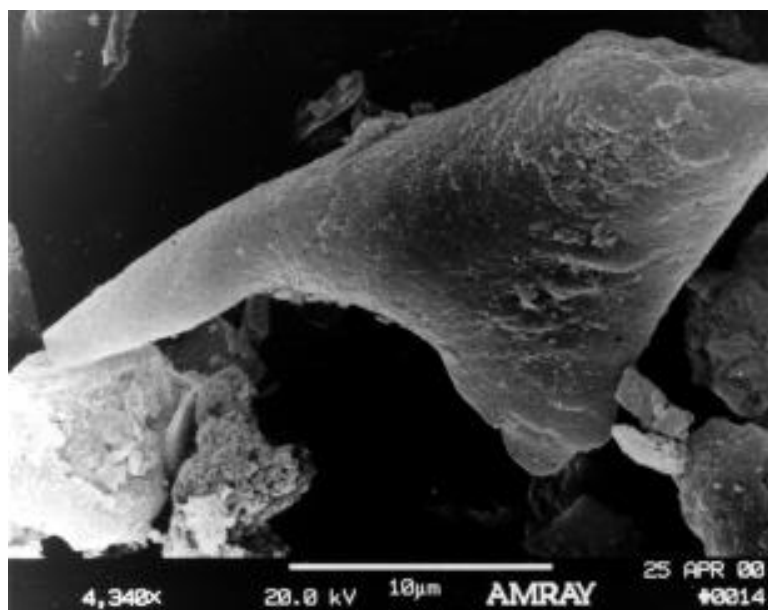


Рисунок 10 – Пример фитолита луговой трихомы [8]

Фитолиты части степных злаков, в том числе ковылей принимают седловидную форму. Пример на рисунке 11.

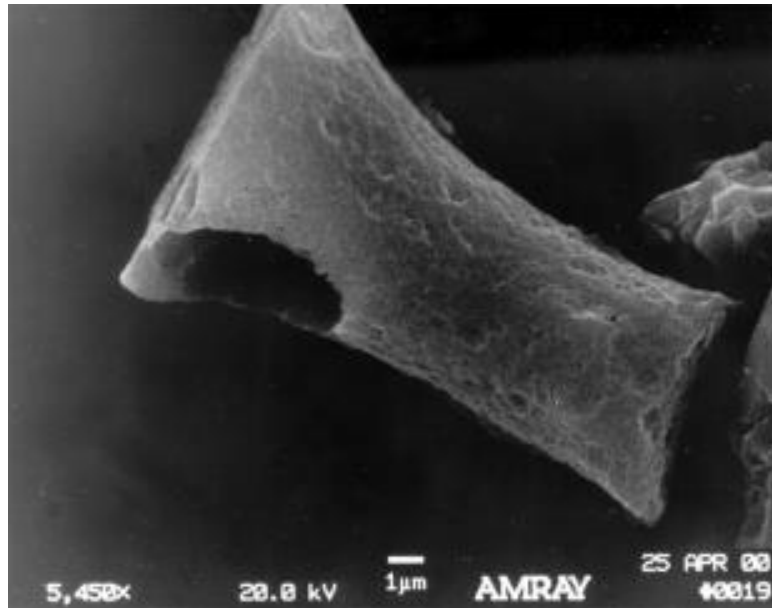


Рисунок 11 – Пример фитолита лугового злака [8]

Формой сухостепных растений, за частую, является палочка или гантелевидная форма с зубчиками или ветвистыми отростками. Пример на рисунке 12

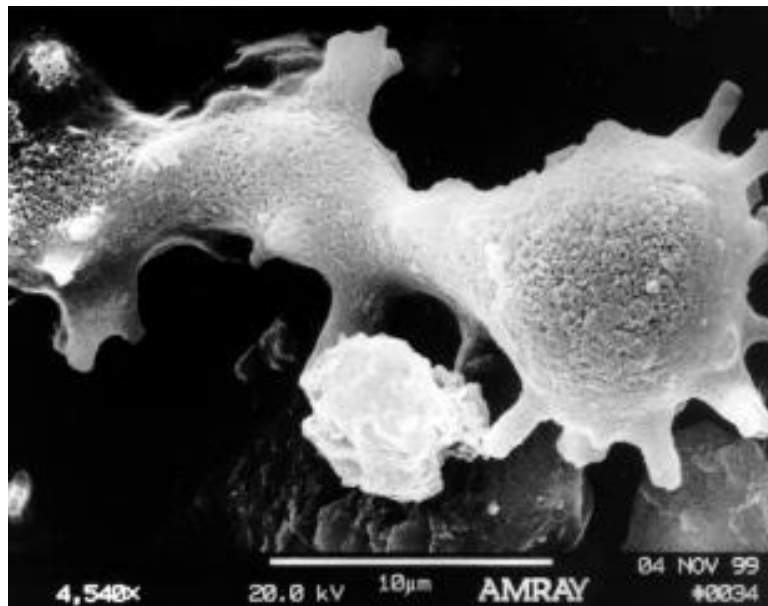


Рисунок 12 – Пример фитолита сухостепного растения [8]

Фитолиты игл хвойных растений выглядят как частицы прямоугольной или квадратной формы с округлыми углублениями. Пример на рисунке 13.

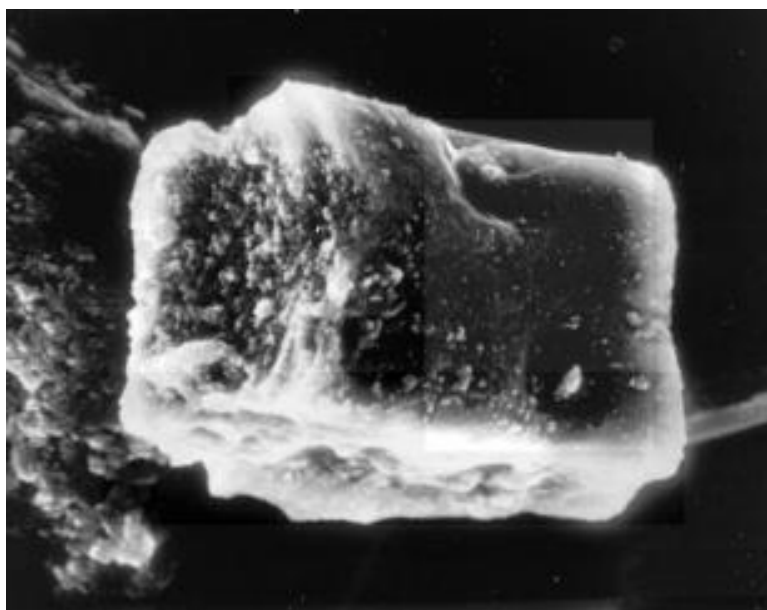


Рисунок 13 – Пример фитолита иглы хвойного растения [8]

Так как морфология фитолита зачастую уникальна для каждого отдельного вида, можно определить отдельный вид, произраставший на территории. Но для вывода о произрастании растения требуется какое-то значимое количество соответствующих форм от общего количества частиц, так как в единичном экземпляре или в малых количествах частица могла перенестись ветром или водами в почву [9, 11].

На основе подсчета количества форм фитоцитов по всему профилю почвы составляется график или таблица с самим профилем и распределением разнообразия встреченных фитоцитов. Это называется фитоцитный спектр. Таким образом наиболее удобно оценивать результаты анализа и делать выводы.

Выводы, сделанные о конкретном месте, считаются характеристикой локальной флоры, так как опавшие хвоя и листья меньше подвержены переносу, чем, к примеру, споры или пыльца [8].



## **3 Базы данных фитоцитов**

**Глава 3 изъята полностью**

## **4 Сбор и определение материала**

**Глава 4 изъята полностью**

## **5 Классификация и создание базы данных фитолитов**

**Глава 5 изъята полностью**

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фитолит – кремниевое образование в различных частях растения, которое формируется в процессе жизнедеятельности биологического организма поглощая кремниевую кислоту из почвы вместе с другими минеральными веществами. Эти частицы обладают множеством свойств, главным из которых является форма, которая и позволяет выделять принадлежность фитолитов к растениям, а на основе этого получать информацию о локальных условиях растительного покрова.

Сам метод фитолитного анализа зародился в 1833 году, благодаря научному интересу Чарльза Дарвина и Кристиана Эринберга. В последствии, сфера применения метода фитолитного анализа расширилась на палеоэкологию и археологию, чем активно занимались ученые США, Австралии, Великобритании и других стран. В конце 20 века была создана международная организация, объединяющая людей, изучающих кремниевые частицы. В России фитолитный анализ стал широко известен среди ученых в то же время, как был открыт. Он был популярен у почвоведов того времени, таких как Эдуард Эйхвальд, Франц Рупрехт и Василий Докучаев. В наше время была создана Российская ассоциация фитолитологов во главе с Александрой Гольевой, которая проводит конференции, посвященные методу фитолитного анализа.

Так как метод фитолитного анализа позволяет получить огромное количество информации, её целесообразно хранить в простых базах данных. Зарубежными и Российскими исследователями созданы базы данных фитолитов, в которых собраны перечни частиц различных растений, с изображениями из микроскопа. В базе данных Алтайского государственного университета отображены данные не только о самих фитолитах, но и о фитолитных спектрах, что позволяет определить целые растительные сообщества, произрастающие на территории.

На южном склоне 100-метровой террасы реки Енисей было собрано и определено 19 видов растений. Выбранные участки являются каменистыми

лугами, что отражено в видовом составе произрастающих на них растений. В основном это травянистые и злаковые растения, но встречаются кустарники. Растительный материал после разделения на части и обработки были готовы к микроскопированию.

Существует множество разных классификаций, используемых различными учеными и группами ученых. Среди них встречаются одинаковые названия для разных форм. Это повлекло за собой ряд проблем. Для решения проблем в 2000 году был принят Международный код номенклатуры фитоцитов (ICPN – International Code of Phytolith Nomenclature). ICPN предполагает использование учеными и исследователями специально введённой терминологии, которая постоянно обновляется.

Результатом работы стала составленная база данных фитоцитов растений южного склона 100-метровой террасы р. Енисей, в которую были внесены 39 уникальных форм фитоцитов. Они были определены согласно международной классификации фитоцитов. Назначением этой базы данных фитоцитов, как и других баз данных является создание коллекции образцов для сравнения с фитоцитами найденными в почвах или при археологических раскопках.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. База данных «Фитолитные спектры фитоценозов юга Западной Сибири» : Алтайский государственный университет. – Барнаул. – URL: <http://phytolith.asu.ru/> (дата обращения: 07.05.2022).
2. База данных фитолитов «M. Blinnikov's Phytolith Gallery» : St. Cloud State University. – St. Cloud. – URL: <https://web.stcloudstate.edu/msblinnikov/phd/phyt.html> (дата обращения: 07.05.2022).
3. База данных фитолитов «PytCore DB» : Universitat de Barcelona. – Barcelona. – URL: <https://www.phytcore.org/phytolith/index.php?rdm=T7NLtt6l5j&action=home> (дата обращения: 07.05.2022).
4. База данных фитолитов «Old world reference phytoliths version 1.3» : University College London. – London, 2007. – URL: <http://www.homepages.ucl.ac.uk/~tcrndfu/phytoliths.html#сур> (дата обращения: 07.05.2022).
5. Большой информационный архив : Фотография Франца Рупрехта. – URL: [https://big-archive.ru/geography/domestic\\_physical\\_geographers/38.php](https://big-archive.ru/geography/domestic_physical_geographers/38.php) (Дата обращения: 29.04.2022).
6. Гольева А. А. История фитолитного анализа в России (от истоков к XXI веку) / А. А. Гольева // Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. – 2016. – Т. 7, №1. – С. 63–67.
7. Гольева, А. А. Опыт применения фитолитного анализа в почвоведении / А. А. Гольева // Почвоведение. – 1995. – №12. – С. 1498–1503.
8. Гольева, А. А. фитолиты – источник информации о природе и хозяйственной деятельности народов в прошлом / Добровольский Г.В., Дергачева М.И. // Палеопочвы, природная среда и методы их диагностики. – Новосибирск, 2012. – ISBN 978-5-85957-092-8. – Ч. 7. – С. 75–92.

9. Гольева, А. А. Фитолиты и их информационная роль при исследовании природных и археологических объектов : монография / А. А. Гольева ; Институт географии РАН. – Москва-Сыктывкар-Элиста, 2001. – 200 с. – ISBN: 5-89658-016-9.
10. Докучаев, В. В. Русский чернозём : монография / В. В. Докучаев ; Санкт-Петербург, 1883. – 297 с. – ISBN: 978-5-901440-30-8
11. Основы фитолитного анализа : учеб. пособие / Н. Ю. Сперанская [и др.] ; АлтГУ. – Барнаул: Изд-во АлтГУ, 2013. - 76 с. – ISBN 978-5-7904-1445-9.
12. Отдел географии и эволюции почв : Фотография Александры Гольевой. – URL: <http://soil.igras.ru/сотрудники/> (Дата обращения: 29.04.2022).
13. Разнообразие фитолитов ковылей (*Stipa*) юга Западной Сибири / Н. Ю. Сперанская, М. Ю. Соломонова, М. М. Силантьева // Известия алтайского государственного университета. – 2014. – № 3-1 (83). – С. 89–94.
14. Российская ассоциация фитолитологов : официальный сайт / Гольева А. А. – URL: <http://фитолит.рф/ru/> (дата обращения: 27.04.2022).
15. Соломонова, М. Ю. Фитолитные спектры фитоценозов северной кулунды и изменения растительности во второй половине голоцена : специальность 03.02.01 «Ботаника» : диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Соломонова Марина Юрьевна ; Алтайский государственный университет. – Барнаул, 2018. – 209 с.
16. Халимон, В.И. Базы данных: учебное пособие / В.И. Халимон, Г.А. Мамаева, А.Ю. Рогов, В.Н. Чепикова ; СПбГТИ(ТУ). – СПб, 2017. – 118 с.
17. Электронная энциклопедия : Фотография Василия Докучаева. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Докучаев,\\_Василий\\_Васильевич](https://ru.wikipedia.org/wiki/Докучаев,_Василий_Васильевич) (Дата обращения: 29.04.2022).

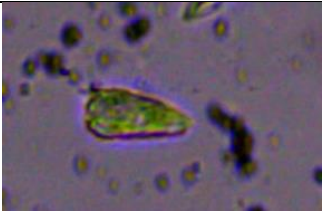
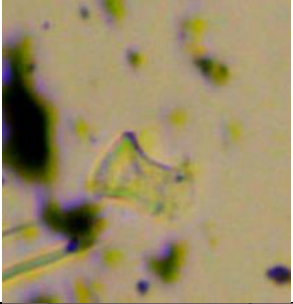

18. Электронная энциклопедия : Фотография Кристиана Эринберга. – URL: [https://th.wikipedia.su/wiki/คริสทีอัน\\_ก็อทฟรีท\\_เอเรินแบร์ค](https://th.wikipedia.su/wiki/คริสทีอัน_ก็อทฟรีท_เอเรินแบร์ค) (Дата обращения: 29.04.2022).
19. Электронная энциклопедия : Фотография Чарльза Дарвина. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Дарвин,\\_Чарлз#/media/Файл:Charles\\_Darwin\\_photograph\\_by\\_Julia\\_Margaret\\_Cameron,\\_1868.jpg](https://ru.wikipedia.org/wiki/Дарвин,_Чарлз#/media/Файл:Charles_Darwin_photograph_by_Julia_Margaret_Cameron,_1868.jpg) (Дата обращения: 29.04.2022)
20. Электронная энциклопедия : Фотография Эдуарда Эйхвальда. – URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Эйхвальд,\\_Эдуард\\_Иванович](https://ru.wikipedia.org/wiki/Эйхвальд,_Эдуард_Иванович) (Дата обращения: 29.04.2022).
21. Guilford Press : Фотография Михаила Блинникова. – URL: <https://www.guilford.com/author/Mikhail-S-Blinnikov> (Дата обращения: 29.04.2022).
22. History of Phytolith Studies : сайт / Environmental science. – URL: <https://www.environmentalscience.org/phytoliths> (дата обращения: 2.05.2022).
23. International phytolith society : Официальный сайт. – URL: <https://phytoliths.org/ips/> (дата обращения: 03.05.2022).
24. IT-блог о технологиях : Схема иерархической структуры базы данных. – URL: <https://zametkinapolyah.ru/zametki-o-mysql/ierarxicheskaya-baza-dannyx-ierarxicheskaya-model-dannyx.html> (Дата обращения: 07.05.2022).
25. IT-блог о технологиях : Схема сетевой структуры базы данных. – URL: <https://zametkinapolyah.ru/zametki-o-mysql/setevaya-baza-dannyx-setevaya-model-dannyx.html> (Дата обращения: 07.05.2022).



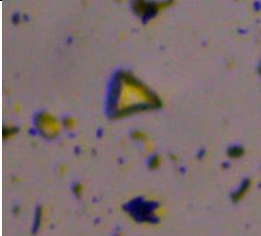
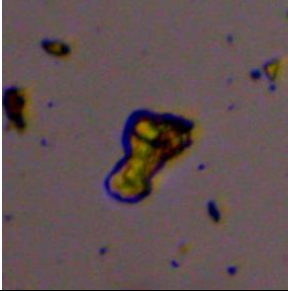
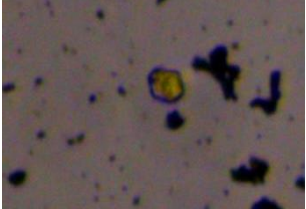
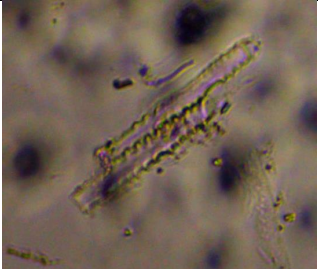
26. Piperno, D. R. Phytoliths. A Comprehensive Guide for Archaeologists and Paleoecologists : Учебное пособие / D. R. Piperno ; Oxford: AltaMira Press. Lanham, New York, Toronto, 2006. – 238 с. – ISBN: 0-7591-0385-2
27. Twiss, P. C. Morphological Classification of Grass Phytoliths / E. Suess, R. M. Smith // Soil Science Society of America Proceedings. – 1969. – № 33. – С. 109-115.
28. Google earth : Alphabet Inc. – URL: <https://earth.google.com/web/> (дата обращения: 14.06.2022).

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

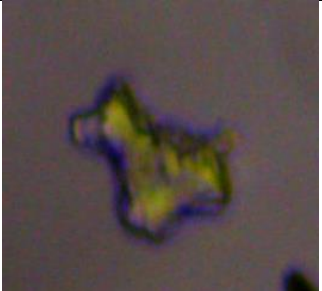

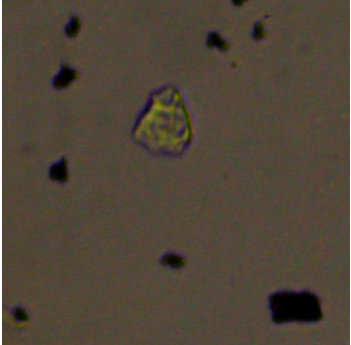
### База данных фитолитов растительности южного склона 100-метровой террасы реки Енисей

№	Вид	Вид (Латынь)	Часть	Фотография фитолита	Классификация	Классификация (английский)
1	Карагана кустарниковая	<i>Caragana frutex</i>	листья		Булавовидный	clavate
2	Молочай уральский	<i>Euphorbia esula</i>	листья		Щитовидный	scutiform
3	Хвойник односемянной	<i>Ephedra monosperma</i>	листья		Удлиненный, плоский	Elongate, tabular


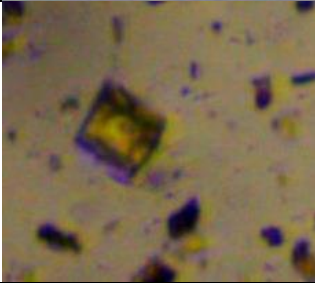
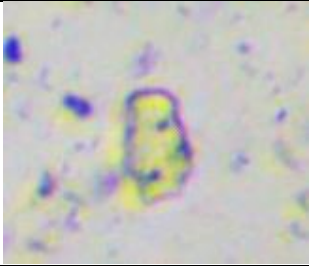
**Продолжение приложения А**

№	Вид	Вид (Латынь)	Часть	Фотография фитолита	Классификация	Классификация (английский)
4	Полынь лерке	<i>Artemisia lercheana</i>	листья		Клиновидный плоский	Cuneiform tabular
5	Люцерна серповидная	<i>Medicago falcata</i>	стебли		Двулопастный короткий	Short bilobate
6	Люцерна серповидная	<i>Medicago falcata</i>	листья		Овальный	Ovate
7	Овсяница овечья	<i>Festuca ovina</i>	стебли		Удлиненный, прямоугольный зернистый	Elongate rectangle, granulate




**Продолжение приложения А**

№	Вид	Вид (Латынь)	Часть	Фотография фитолита	Классификация	Классификация (английский)
8	Карагана кустарниковая	<i>Caragana frutex</i>	плоды		Крестообразный короткий	Quadra-lobate short
9	Астрагал белостебельный	<i>Astragalus albicaulis</i>	цветки		Ланцетовидный	Lanceolate
10	Бодяк полевой	<i>Cirsium arvense</i>	листья		Трапециевидный бороздчатый	Trapeziform rugulate

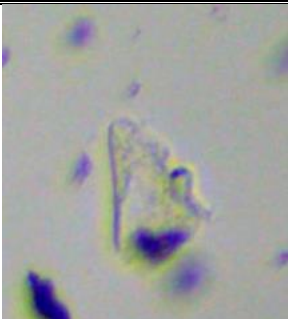
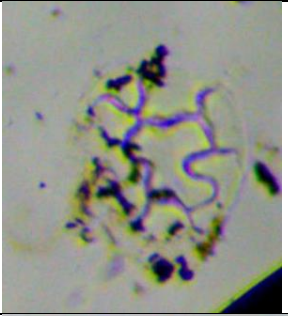

### Продолжение приложения А

№	Вид	Вид (Латынь)	Часть	Фотография фитолита	Классификация	Классификация (английский)
11	Бодяк полевой	<i>Cirsium arvense</i>	стебли		Трапециевидный изборозденный	Trapeziform sulcate
12	Кизильник черноплодный	<i>Cotoneaster Melanocarpus</i>	листья		Квадратный Плоский	Square tabular
13	Житняк гребенчатый	<i>Agropyron cristatum</i>	стебли		Овальный ямчатый	Ovate scrobiculate


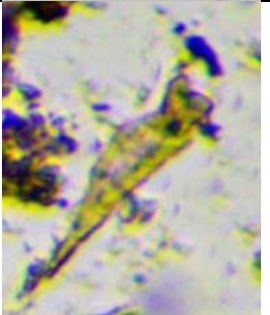

Продолжение приложения А

№	Вид	Вид (Латынь)	Часть	Фотография фитолита	Классификация	Классификация (английский)
14	Скабиоза бледножелтая	<i>Scabiosa ochroleuca</i>	цветок		Округлый	Orbicular
15	Скабиоза бледножелтая	<i>Scabiosa ochroleuca</i>	стебли		Трапециевидный	Trapeziform
16	Подмаренник настоящий	<i>Galium verum</i>	стебли		Овальный полосовидный	Ovate striate

Продолжение приложения А

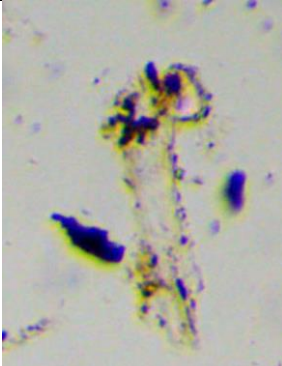
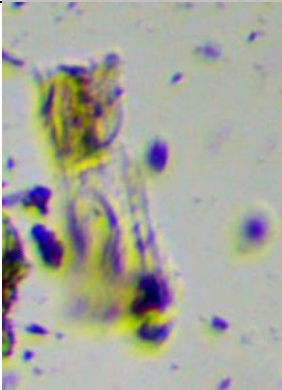
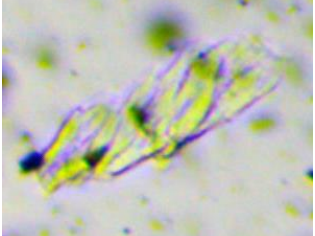
№	Вид	Вид (Латынь)	Часть	Фотография фитолита	Классификация	Классификация (английский)
17	Василистник малый	<i>Thalictrum minus</i>	листья		Конический	Conical
18	Подмаренник настоящий	<i>Galium verum</i>	листья		Овальный сетчатый	Ovate reticulate
19	Борец мохнатый	<i>Aconitum volubile</i>	стебли		Клиновидный слоистый	Cuneiform laminate

Продолжение приложения А

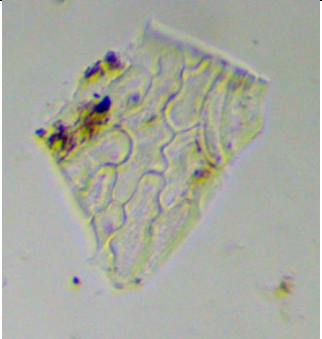
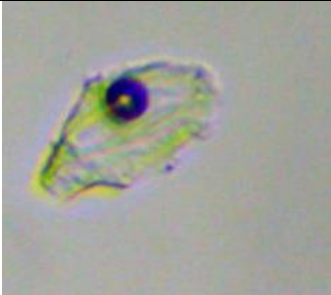
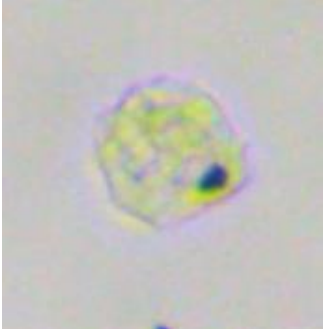
№	Вид	Вид (Латынь)	Часть	Фотография фитолита	Классификация	Классификация (английский)
20	Василистник малый	<i>Thalictrum minus</i>	стебли		Удлиненный волнистый	Elongate sinuate
21	Борец мохнатый	<i>Aconitum volubile</i>	листья		Кильевидный	Carinate
22	Борец мохнатый	<i>Aconitum volubile</i>	цветки		Параллелепипедовидный	Parallelepipedal




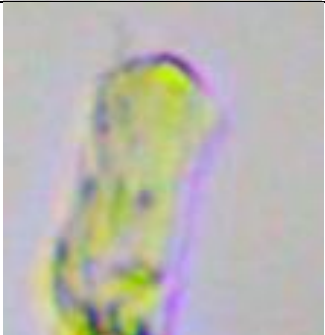

Продолжение приложения А

№	Вид	Вид (Латынь)	Часть	Фотография фитолита	Классификация	Классификация (английский)
23	Житняк гребенчатый	<i>Agropyron cristatum</i>	листья		Удлиненный пористый	Elongate lacunose
24	Астрагал белостебельный	<i>Astragalus albicaulis</i>	стебли		Прямоугольный	rectangle
25	Астрагал белостебельный	<i>Astragalus albicaulis</i>	листья		Овально-продолговатый изборозденный	Oblong sulcate

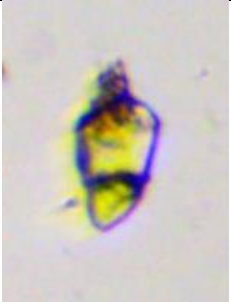
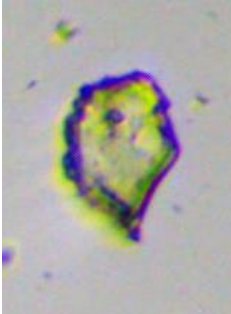
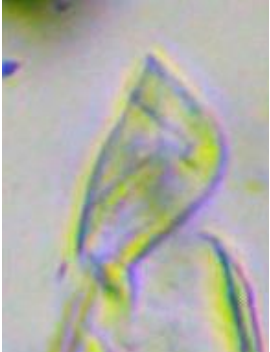
**Продолжение приложения А**

№	Вид	Вид (Латынь)	Часть	Фотография фитолита	Классификация	Классификация (английский)
26	Полынь однолетняя	<i>Artemisia annua</i>	листья		Трапециевидный сетчатый	Trapeziform reticulate
27	Фенхель обыкновенный	<i>Foeniculum vulgare</i>	стебли		Веретеновидный полосовидный	Fusiform striate
28	Кизильник черноплодный	<i>Cotoneaster Melanocarpus</i>	плоды		Округлый бороздчатый	Orbicular rugulate

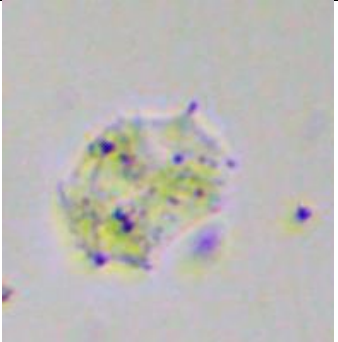
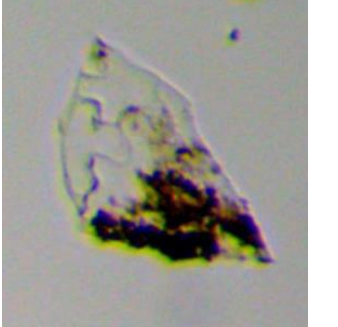

Продолжение приложения А

№	Вид	Вид (Латынь)	Часть	Фотография фитолита	Классификация	Классификация (английский)
29	Полынь однолетняя	<i>Artemisia annua</i>	стебли		Трапециевидный, имеет несколько плоских поверхностей	Trapeziform facetate
30	Лапчатка бесстебельная	<i>Potentilla acaulis</i>	корни		Щитовидный ямчатый	Scutiform scrobiculate
31	Карагана кустарниковая	<i>Caragana frutex</i>	ветки		Округлый изборозженный	Orbicular sulcate

Продолжение приложения А

№	Вид	Вид (Латынь)	Часть	Фотография фитолита	Классификация	Классификация (английский)
32	Полынь лерке	<i>Artemisia lercheana</i>	стебли		Клиновидный	Cuneiform
33	Хвойник односемянной	<i>Ephedra monosperma</i>	стебли		Щитовидный плоский	Scutiform tabular
34	Фенхель обыкновенный	<i>Foeniculum vulgare</i>	листья		Конический	Conical

Продолжение приложения А

№	Вид	Вид (Латынь)	Часть	Фотография фитолита	Классификация	Классификация (английский)
35	Скабиоза бледножелтая	<i>Scabiosa ochroleuca</i>	листья		Овальный слоистый	Ovate laminate
36	Зопник клубненосный	<i>Phlomoides tuberosa</i>	листья		Клиновидный сетчатый	Cuneiform reticulate
37	Зопник клубненосный	<i>Phlomoides tuberosa</i>	стебли		Конический сетчатый	Conical reticulate

### Окончание приложения А

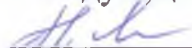
№	Вид	Вид (Латынь)	Часть	Фотография фитолита	Классификация	Классификация (английский)
38	Молочай уральский	<i>Euphorbia esula</i>	стебли		Квадратный волнистый	Square sinuate
39	Вьюнок полевой	<i>Convolvulus arvensis</i>	цветки		Параллелепипедовидный бороздчатый	Parallelepipedal rugulate

Министерство науки и высшего образования РФ  
Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт экологии и географии  
Кафедра географии

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой



Г. Ю. Ямских

подпись

инициалы, фамилия

«13» июня 2023 г.

**БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА**

05.03.02 География

05.03.02.02 Физическая география и ландшафтоведение

**Фитолитный анализ и создание базы данных фитолитов для  
реконструкции растительности южного склона 100-метровой террасы реки  
Енисей**

Научный  
руководитель



подпись, дата

проф., д-р геогр. наук  
должность, учёная степень

Г. Ю. Ямских  
инициалы, фамилия

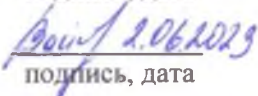
Выпускник



подпись, дата

Ю. С. Тутов  
инициалы, фамилия

Нормоконтролер



подпись, дата

И. А. Вайсброт  
инициалы, фамилия

Красноярск 2023