

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

**РОСТОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭКОНОМИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
(РИНХ)**

А.У. Альбеков, В.В. Украинцева, В.Б. Украинцев

**КЛИМАТ ЗЕМЛИ
И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ:
ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ**

**Ростов-на-Дону
Издательско-полиграфический комплекс РГЭУ (РИНХ)
2023**

УДК 551
ББК 65.6+20.1
А 56

А 56 Климат Земли и устойчивое развитие: эколого-экономический аспект : монография / А.У. Альбеков, В.В. Украинцева, В.Б. Украинцев. – Ростов-на-Дону : Издательско-полиграфический комплекс Рост. гос. экон. ун-та (РИНХ), 2023.

ISBN 978-5-7972-3123-3

В монографии представлены результаты междисциплинарного исследования климатических изменений и их учета в модели устойчивого развития через инструменты зеленой экономики. Разработаны принципиально новые методы реконструкции климатов прошлого и прогнозирования изменений климатов Земли в будущем на основании использования данных метода спорово-пыльцевого анализа, метода радиоуглеродного анализа, современных метеорологических данных и данных о солнечной активности. Отражены экономические механизмы регулирования выбросов парниковых газов как основного фактора антропогенного изменения климата.

Исследование может быть интересно широкому кругу читателей, занимающихся вопросами устойчивого развития и влияния климатических изменений на современное состояние экономики, а также экологическими проблемами и природными явлениями.

УДК 551
ББК 65.6+20.1

Рецензенты:

Бердников Сергей Владимирович, д.г.н., профессор, директор ЮНЦ РАН;
Тяглов Сергей Гаврилович, д.э.н., профессор кафедры экономики региона,
отраслей и предприятий РГЭУ (РИНХ)

Утверждена в качестве монографии
редакционно-издательским советом РГЭУ (РИНХ)

ISBN 978-5-7972-3123-3

© Ростовский государственный
экономический университет
(РИНХ), 2023
© Альбеков А.У., Украинцева В.В.,
Украинцев В.Б., 2023

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	5
ГЛАВА 1 ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ КЛИМАТА ЗЕМЛИ ПРОШЛОГО	8
ГЛАВА 2 ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА, РАСТИТЕЛЬНЫЙ ПОКРОВ И КЛИМАТ ЗЕМЛИ: МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ.....	16
2.1 Спорово-пыльцевые спектры – надежные архивы, индикаторы и мониторы окружающей среды	16
2.2 Новый метод оценки спорово-пыльцевых спектров.....	38
2.3 Новый метод реконструкции климатов прошлого.....	49
ГЛАВА 3 ЕСТЕСТВЕННЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ: РОЛЬ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ	62
3.1 Климат Земли в прошлом и прогнозы: интегральный подход.....	62
3.2 Исследования солнечной активности и прогнозы климатических изменений	70
3.3 Солнечный цикл 24: выводы М. Локвуда.....	80
3.4 Холодные и теплые зимы на планете Земля и их связь с солнечной активностью	87
3.5 Вода, реки, озера, водохранилища – богатства Земли.....	95
3.6 Стационарные полыньи и трещины в замерзающих морях планеты Земля: их роль для понимания изменений климата Земли.....	102
ГЛАВА 4 ВЫБРОСЫ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ КАК ОСНОВНОЙ ФАКТОР АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА В СОВРЕМЕННУЮ ЭПОХУ	112
4.1 Выбросы парниковых газов: источники и последствия.....	112
4.2 Современные научные прогнозы климатических изменений ...	123

4.3 Международное климатическое сотрудничество и регулирование	128
4.4 Экономические механизмы регулирования выбросов парниковых газов	131
ГЛАВА 5 УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ И СМЯГЧЕНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА.....	138
5.1 Модель устойчивого развития как ответ на антропогенное воздействие на окружающую среду	138
5.2 Зеленая экономика как инструмент устойчивого развития	157
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	137

ВВЕДЕНИЕ

Ландшафтная оболочка Земли, все ее ландшафты – наземные, водные, водно-ледовые, морей и океанов испытывают ритмические изменения во времени, как внутригодовые – сезонные, так и межгодовые и многовековые – климатические. Географы всегда рассматривали и рассматривают ландшафтную оболочку Земли как крупную, сложную систему. В связи с этим системный подход при ее изучении логичен и рационален.

К настоящему времени накоплен гигантский объем знаний о результатах изучения окружающей среды и климатов прошлого планеты Земля. Перед научным сообществом теперь стоит главная задача – обобщить и осмыслить эти гигантские объемы данных, с тем чтобы найти реальные методы прогнозирования изменений климата Земли в будущем.

Данные о климатах прошлого являются решающими для прогнозирования изменений климата в будущем. Без знания прошлого и знания связей прошлого с настоящим прогнозов на будущее быть не может. Для того чтобы прогнозировать изменения климата в будущем, нужны новые теоретического плана принципы, факты и методы.

Проблема прогноза изменений климата в будущем, ближайшем и более отдаленном, – одна из важнейших проблем современности. Над этой проблемой работают многие международные научные коллективы и Межправительственные комиссии разных стран, изучая современный климат и климаты прошлого Земли, что в конечном счете направлено на прогноз климатических изменений в будущем – наводнений, засух, землетрясений, цунами и т.д.

Климат развивается длительно и устойчиво, поэтому основные закономерности, установленные для современного климата, могут быть использованы для прогнозных построений.

Этот новый метод реконструкции климатов прошлого целесообразно использовать для территории любого района и региона при изучении отложений любого генезиса и возраста методом спорово-пыльцевого анализа и другими методами: методом диатомового анализа, методом анализа фораминифер, других организмов органического происхождения.

Солнце – главный триггер изменений климата на Земле как в прошлом, так и в настоящее время; естественно, от него зависят климатические изменения на Земле и в будущем. Основная стратегия для исследователей планеты Земля – это изучение активности Солнца и климата Земли. Это первостепенные и главнейшие задачи нашего времени для исследователей нашей планеты.

Ведущие климатообразующие факторы – солнечные, вулканические, циркуляционные атмосферные, облачность, парниковые газы, другие факторы. Только синтез солнечно-телескопических, палеографических и современных метеорологических данных позволит создавать долгопериодические глобального уровня прогнозы климата.

Общепризнано наличие тесной корреляции между состоянием окружающей среды и социально-экономическим развитием. Социально-политические и экономические трансформации, а также экологические бедствия и катастрофы 1970–1980-х годов способствовали росту озабоченности общественности разных стран тревожными изменениями окружающей среды. Так концепция устойчивого развития получила необходимый импульс развития.

Ключевая идея концепции устойчивого развития состоит в установлении баланса между поколениями – масштабы эксплуатации ресурсов, направление капиталовложений, ориентация технического развития и институциональные изменения согласуются с нынешними и будущими потребностями.

«Загазованный» воздух городов и деревень отравляет жизнь людей, продукты питания, сокращает биоразнообразие территорий, иссушает климат. Однако стремление к углеродной нейтральности является мощным вызовом для экономики и социума любой страны.

Некоторые страны установили целевые ориентиры для перехода к углеродной нейтральности, сформировали собственные системы торговли квотами на выбросы, углеродные налоги, механизм трансграничной углеродной корректировки. С другой стороны, переход от ископаемого топлива к альтернативным «чистым» видам энергии приводит к сжиганию данного сектора, сокращению рабочих мест и отмиранию некоторых профессий.

Традиционная линейная экономическая модель по сути себя исчерпала в том смысле, что экономические ресурсы используются неэффективным способом, так как их сохранение и экономия не являются важным аспектом производственного цикла. Переход к так называемой циркулярной экономике позволяет отчасти решить ресурсную проблему: при таком подходе производство предполагает длительное и повторное использование, а также вторичную переработку и использование продуктов.

Необходимо обеспечить знаниями и поддержкой переход к устойчивому миру в области наук о Земле путем интегрирования различных научных дисциплин, объединения исследователей естественных и общественных наук и использовать научную информацию для развития научных проблем и решения стратегических задач и их решений.

Данная монография будет полезна всем специалистам и студентам, работающим и обучающимся в сфере различных направлений наук о Земле, в области изучения солнечно-земных связей, в области прогнозирования изменений климата Земли в ближайшем и более отдаленном будущем, а также экономистам для общего понимания механизмов климатических изменений и их последствий для устойчивого развития.

ГЛАВА 1 ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМЫ ИЗУЧЕНИЯ КЛИМАТА ЗЕМЛИ ПРОШЛОГО

Ландшафтная оболочка Земли, все ее ландшафты – наземные, водные, водно-ледовые, морей и океанов испытывают ритмические изменения во времени, как внутригодовые – сезонные, так и межгодовые и многовековые – климатические. Географы всегда рассматривали и рассматривают ландшафтную оболочку Земли как крупную, сложную систему. В связи с этим системный подход при ее изучении логичен и рационален.

В системе наук о ландшафтах Земли в настоящее время происходят кардинальные изменения. Сформирована новая научная платформа международного уровня **The Future Earth** (<http://www.icsu.org/future-earth/whats-new>). Эта платформа создана на базе Международных научных программ **PAGES** («Глобальные изменения прошлого») и **GBP** («Геосфера и Биосфера прошлого»). В конце 2015 года в нее были включены еще две международные программы: **Global Environmental Changes** («Глобальные изменения окружающей среды») и **DIVERSITAS** («Разнообразие»). В качестве филиала к этой платформе присоединена **Международная программа по изучению климатов прошлого, WCRP**. Данные изменения несут в себе как риски, так и благоприятные возможности. Предстоящие год-два будут переходными для внутренней организации этой новой научной платформы, для планирования научных программ и внешних связей. Эти структурные изменения направлены на то, чтобы обеспечить знаниями и поддержкой переход к устойчивому миру в области наук о Земле путем интегрирования различных научных дисциплин, объединения исследователей естественных и общественных наук и использовать научную информацию для развития научных проблем и решения стратегических задач и их решений (The Future Earth, 2015; <http://www.futureearth.org>).

Годы 2017–2019 – это годы изучения погоды и климата Земли Всемирной Метеорологической Организацией (WMO) – Year of Polar Prediction – from research to improved environmental safety (Published 15, May 2017).

Как известно, на ландшафтную оболочку Земли воздействуют силы эндогенные – внутренние и экзогенные – внешние. Эндогенные силы все еще недостаточно известны; эти силы ни учесть, ни проверить достоверно пока нельзя. Экзогенные силы, внешние – от Солнца и других планет Солнечной системы, – изучаются давно. Это периодические и циклические силы. Хотя секретов у Солнца еще очень много, но передний край исследований Солнца – это компьютерное моделирование возникновения и изменения темных зон на его поверхности. В перспективе у этих экспериментов более важная цель – выявить закономерности формирования солнечных циклов (Бекманн, 2017).

Солнце – главный триггер изменений климата на Земле как в прошлом, так и в настоящее время; естественно, от него зависят климатические изменения на Земле и в будущем.

Климаты прошлого Земли изучаются достаточно давно (Борисов, 1975; Beer et al., 2012; Bradley, 2015, многие другие работы). Понимание климатических изменений на Земле требует изучения воздействия на климат таких главных факторов, как солнечный, вулканический, парниковых газов и многих других.

Существующие в настоящее время методы изучения и реконструкции климатов прошлого охарактеризованы в монографии профессора R.S. Bradley «PALEOKLIMATOLOGY. Reconstructing Climates of the Quaternary» (2015). Эта книга выдержала уже третье издание, но интерес к ней не ослабевает, так как она важна как для опытных исследователей-палеогеографов и палеоклиматологов, так и для ученых, начинающих работать в области естественных наук о Земле. Следует отметить, что в обширном списке литературы монографию А.А. Борисова «Климаты СССР в прошлом, настоящем и будущем» (1975) профессор R.S. Bradley не приводит. Возможно, что эта ценнейшая работа Борисова не была переведена на английский язык, и поэтому ему не известна.

В монографии Bradley подробно рассмотрены основные факторы, влиявшие на климаты Земли в прошлом; показана роль палеоклиматических реконструкций для понимания истории климатов Земли, охарактеризованы: система климата Земли; механизмы связи климата Земли и ее атмосферы; баланс энергии;

шкалы климатических изменений; изменчивость параметров орбит Земли; воздействие на климат Земли солнечных сил, извержений вулканов и других факторов. Подробно охарактеризованы две основные группы изучения климатов Земли прошлого.

Группа I включает методы датирования природных объектов прошлого планеты Земля: радиоизотопные методы (*Radioisotopic Methods*); методы радиоуглеродного датирования (*Radiocarbon Dating*); поташ – аргоновый метод (*Potassium – Argon Dating*, $^{40}\text{K}/^{40}\text{Ar}$); серии уранового датирования (*Uranium Series Dating*); метод люминесцентного датирования (*Luminescence Dating*); *Principles and Application*, другие методы.

В Группу II включены объекты, которые датируются названными выше методами: ледники (*Ice Cores*); отложения морей (*Marine Sediments*); отложения лесов (*Loess*); отложения пещер (*Speleothems*); отложения озер (*Lake Sediments*); геологические объекты неморского генезиса (*Nonmarine Geologic Evidence*); насекомые и другие биологические объекты континентальных регионов (*Insects and Other Biological Evidence from Continental Regions*); пыльца растений (*Pollen*); кольца деревьев (*Tree Rings*); кораллы (*Corals*); исторические документы (*Historical Documents*). К настоящему времени накоплен гигантский объем знаний о результатах изучения окружающей среды и климатов прошлого планеты Земля. Перед научным сообществом теперь стоит главная задача – обобщить и осмыслить эти гигантские объемы данных, с тем чтобы найти реальные методы прогнозирования изменений климата Земли в будущем.

Солнце – главный триггер изменений климата на Земле. Естественно, что и другие планеты Солнечной системы, такие как Луна, Марс, Сатурн, также оказывали воздействие на климат Земли в далеком прошлом, как оказывают они это воздействие на ее климат и теперь. Хотя воздействие Солнца на климат Земли изучается давно самым тщательным образом (Beer, McCracken, Steiger, 2012; Lockwood, 2013 и другие работы), тем не менее дальнейшие исследования в этой области знаний крайне необходимы. В связи с этим в 2011 году в рамках Международной программы **PAGES** была сформирована Международная исследовательская группа **Solar Forcing** («Солнечное воздействие»), Да-

вос, Швейцария. Научное руководство этой группой возглавил профессор J. Beer.

В 2012 году во время первого рабочего заседания группы **Solar Forcing** перед ее участниками была поставлена задача: оценить роль солнечного воздействия на климат Земли, с тем чтобы была возможность включать получаемые новые данные в модели климата. Обновляемые модели климата могут быть сопоставимы с палеоклиматическими данными. Однако такой подход оказался неудовлетворительным вследствие двух причин. Во-первых, прямые спутниковые измерения общего солнечного воздействия на верхнюю атмосферу Земли (Общая солнечная иррадиация, **TSI**) и ее спектральный состав (Spectral solar irradiance, **SSI**) стали возможны только с 1978 года. Так как Солнце было в состоянии очень высокой активности в течение всего периода детальных инструментальных наблюдений, то репрезентативной информации о Солнце для периодов нормальной или низкой его активности, такой как минимум Маундера (1645–1715 гг.), не было получено. В связи с тем что результаты градиационных эффектов и различий между разными типами инструментов еще не были приняты, то общего согласия о составе TSI пока нет. Кроме того, так как физические солнечные модели все еще не восприимчивы к репродуцированию наблюдаемой солнечной активности, в частности долгопериодических изменений TSI и SSI, то единственная информация о многолетнем и тысячелетнем уровнях изменений солнечной активности, возможная в настоящее время, основывается на данных о космогенных радионуклидах, таких как ^{10}Be и ^{14}C . Несмотря на то что эти радионуклиды выявляют относительный уровень солнечной активности, конвертация их в количественные изменения, выражаемые в числах Вольфа ($\text{Вт}/\text{м}^2$), остается не решенной. В этом кроется причина того, почему публикуемые реконструируемые TSI обычно схожи друг с другом по форме, но имеют большие амплитуды колебаний (Beer, 2012).

Вторая сложность в оценке роли солнечных воздействий на климат состоит в том, что ответ климата Земли на солнечные воздействия в количественных выражениях очень трудно установить. Например, оказывается, что SSI играет важную роль в химии атмосферы и ее динамике. Но чтобы изучить этот эффект не-

обходимы количественные данные для всех изменений и реальные долговременные палеоклиматические записи для утверждения (ратификации) моделей – тех и других в настоящее время в необходимом количестве нет. Также различные модели различно реагируют на одни и те же изменения, а это поднимает фундаментальный вопрос о том, были ли все соответствующие процессы связей климатической системы выполнены корректно (Beer, 2012: 91).

«Все эти трудности заставляют нас «ставить “повозку, карету” (палеоданные) впереди “лошади” (Солнца) и искать новые пути, для того чтобы оценить роль воздействий Солнца на климат Земли непосредственно из палеоданных. Предлагаемый нами принцип «установления и приложения» (detection and attribution) направлен на то, чтобы установить климатические изменения в прошлом, которые могут быть связаны без амбиций с изменениями солнечного воздействия. А это требует большого числа хорошо датированных новых находок палеоданных и пространственно-временного их анализа на тысячелетних шкалах времени» (Beer, 2014: 112).

К счастью, такие работы уже есть, например, исследования PAGES 2k Группы.

Новые перспективные данные были представлены 20–23 Мая 2014 года во время работы второго заседания группы **Solar Forcing** в Давосе, Швейцария.

Участниками этой группы в завершение работы было принято следующее решение.

1. При установлении солнечных сигналов и характерных свойств их проявления выбирать периоды экстремумов солнечной активности, которые характеризуются минимальными связями с вулканическими извержениями.

2. Учитывать факт, что солнечная активность имеет циклические составляющие с хорошо установленной периодичностью между солнечной и вулканической активностью.

3. Устанавливать регионы высокой устойчивости к солнечному воздействию, основанные на палеоданных и модельных работах. Для этих регионов должны быть получены новые локальные палеоданные.

4. Интенсифицировать усилия к пониманию передовых, прогрессивных методов изучения палеоданных, которые отражают роль солнечного воздействия на окружающую среду прошлого.

5. Не использовать температуры полушарий Земли или глобальные температуры для прогнозных целей, так как эти осредненные данные находятся вне региональных данных и искажают климатические региональные характеристики (Beer, 2014: 122).

Именно здесь необходимо привести персональную оценку профессора R.S. Bradley, участника группы Solar Forcing, которая была сформулирована им в заключительный день работы группы 23 мая 2014 года: *«Записи космогенных изотопов вносят гигантский вклад в изучение окружающей среды прошлого, но вопросы использования их как “простых” записей TSI остаются; самый большой сигнал в Голоцене связан с изменениями геомагнитных полей. ...Несмотря на богатство данных о климатах прошлого, палеоклиматологи сделали мало работы, оценивая воздействие Солнца на климат Земли в Голоцене. Анализы элементарны, статистически не сложны; механизмов понимания и гипотез нет вообще; настоящая “Компания” – исключение»* (Bradley, 2014). Под понятием «настоящая Компания» профессор R.S. Bradley имел в виду участников заседания рабочей группы Solar Forcing 20–23 мая 2014 года, Давос, Швейцария. (Перевод В.В. Украинцевой, участника этой рабочей группы.)

При реконструкции климатов прошлого используются данные литологии, стратиграфии, геохронологии, геохимии, палеонтологии, тектоники и многие другие методы. Климатолог А.А. Борисов исключительно большое значение придавал геологическим методам исследований при реконструкции климатов прошлого. *Никакая характеристика древних климатов без изучения литологического состава пород, а также без анализа палеогеографической обстановки невозможна. При восстановлении палеоклиматических условий особенно важно восстановить ландшафт изучаемого района, подчеркивает он; и здесь неоценимую роль играет палеонтология, дающая в руки исследователя картины животного и растительного мира, ареалы распространения тех или иных видов, обитающих в строго определенной климатической обстановке. На примере современной рас-*

тительности можно видеть, что все разнообразие типов растительности и характер их географического распространения непосредственно отражают закономерности распределения тепла и влаги на континентах, широтную зональность растительного покрова Земли. Несомненно, подобные зависимости распространения растительности от климата проявлялись и в прошлом. Это допущение открывает возможность использования палеоботанических данных для реконструкций древних климатов, привлекая в качестве показателей древних климатов тип ископаемой флоры, морфо-анатомические особенности ее растений, относительную роль в них тех или иных жизненных форм и др. (Борисов, 1975: 291).

Особую роль в изучении климатов прошлого А.А. Борисов отводил методу спорово-пыльцевого анализа и возлагал на него большие надежды, поскольку пыльца, споры растений сохраняются в отложениях, как правило, лучше, чем остатки вегетативных органов растений, и в целом характеризуют более полно ландшафты, растительный покров и климаты прошлых эпох.

Оказалось, что пыльца, споры растений в желудочно-кишечных трактах растительноядных животных, как современных, так и ископаемых, практически не перевариваются и не разрушаются. В связи с этим изучение остатков пищи растительноядных ископаемых животных методом пыльцевого анализа является ценнейшим инструментом для познания растительного покрова и климатов прошлого, изменений их в пространстве-времени (Украинцева, 2002; Ukraintseva, 2013; Украинцева, Украинцев, 2017).

Методом пыльцевого анализа исследований были охвачены практически все территории Евразии, включая территорию Российской Федерации (СССР), территории Северной Америки, Канады, Гренландии, Китая, Японии, Африки и т.д. Благодаря этим исследованиям были реконструированы ландшафты и климаты последнего Ледникового периода (СОНМАР Members, 1988).

К настоящему времени особенно полно изучен Голоцен, как в нашей стране, так и за ее пределами. При этом по данным пыльцевого анализа осуществлялась реконструкция ландшафтов, растительного покрова и климатов тех или иных регионов и районов исследований. Что касается прогнозирования изменений

климата для территории России и сопредельных стран, то эта важнейшая проблема в работах палеогеографов и палеоклиматологов практически слабо представлена или не представлена вообще. Исключение – монография А.А. Борисова (1975).

В чем кроется причина такого состояния? Анализ публикаций по пыльцевому анализу, имеющихся в настоящее время, свидетельствует о том, что это обусловлено практически устаревшими методами оценки спорово-пыльцевых спектров, практическим отсутствием определений пыльцы, спор растений до ранга вида, устаревшей методикой реконструкции климатов.

«Без знания видов – нет познания», – писал великий шведский ботаник К. Линней. Эту аксиому должны знать и помнить все те, кто будет идти путями изучения окружающей среды планеты Земля. Данные о климатах прошлого являются решающими для прогнозирования изменений климата в будущем. Чем лучше мы знаем историю систем климата, тем больше наша надежда на прогнозирование и, соответственно, управление характером изменения климата (Shulmeister et al, 2006: 104). Без знания прошлого и знания связей прошлого с настоящим прогнозов на будущее быть не может. Для того чтобы прогнозировать изменения климата в будущем, нужны новые теоретического плана принципы, факты и методы.

ГЛАВА 2 ОКРУЖАЮЩАЯ СРЕДА, РАСТИТЕЛЬНЫЙ ПОКРОВ И КЛИМАТ ЗЕМЛИ: МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

2.1 Спорово-пыльцевые спектры – надежные архивы, индикаторы и мониторы окружающей среды

*In company with other earth scientists palynologist
hopes to find in present a key to the past.
P. Martin, J. Schoenwetter, B.C. Arms, 1961*

Метод пыльцевого анализа общепризнан и широко зарекомендовал себя в самых разных областях естественных наук как в нашей стране, так и за ее пределами. Хорошо известно, что в основу интерпретации данных пыльцевого анализа положен методический принцип оценок соответствия таксономического состава растительного покрова (флора и растительность) и таксономического состава спорово-пыльцевых спектров поверхностных проб, отражающих растительный покров того или иного района или региона исследований. Коллекторами такого рода спектров являются континентальные – наземные, болотные, озерные отложения и, конечно, отложения морей и океанов.

Остатки пищи ископаемых растительноядных животных являются также ценными коллекторами пыльцы, спор растений, которыми животные питались в местах их обитания. В кишечных трактах животных пыльца, споры растений практически не перевариваются и не разрушаются под действием желудочного сока и ферментов, что позволяет определять по пыльце и спорам те растения, которыми животные питались незадолго до их гибели (Тихомиров, Куприянова, 1954; Куприянова, 1957; Тихомиров, Культина (Украинцева), 1973; Украинцева, Флеров, Солоневич, 1978; Украинцева, 2002; Ukraintseva, 2013; Spaulding, Martin, 1979; Agenbroad et al., 1984; Mead et al., 1984). В связи с этим пыльцевой анализ стал широко применяться при исследованиях остатков пищи ископаемых животных и отложений, в которых эти животные были погребены, что имеет большое значение для стратиграфических построений и корреляции одновозрастных толщ осадков (Украинцева, 2002; Ukraintseva, 2013).

Данные пыльцевого анализа используют флористы, геоботаники, геологи, палеогеографы, другие специалисты. Климатологи также используют данные пыльцевого анализа при реконструкциях климатов прошлого.

Сущность метода пыльцевого анализа, методик полевых работ при отборе проб, способы технической обработки образцов, методы подсчета пыльцы и спор при анализе, методы построения спорово-пыльцевых диаграмм и другие вопросы методического плана освещены в работах И.М. Покровской (Пыльцевой анализ, 1950) и в монографии А.Н. Сладкова (1967). Эти фундаментальные работы стали настольными руководствами для многих исследователей, как начинающих, так и уже опытных, работающих в сфере пыльцевого анализа. И все-таки проблемы методического плана в этой области исследований с течением времени накапливались, что отражает статья Г.М. Левковской (1965). Тщательно проанализировав достаточно большое количество работ как отечественных, так и зарубежных авторов методического плана о способах подсчета, оценках результатов и интерпретации спорово-пыльцевых данных, получаемых при исследованиях отложений четвертичного возраста, способах построения спорово-пыльцевых диаграмм, автор приходит к следующим важным выводам.

1. Различные исследователи в настоящее время неодинаково подходят к расчету результатов пыльцевого анализа четвертичных отложений и построению спорово-пыльцевых диаграмм.

2. В зависимости от способа подсчета меняется процентное содержание компонентов в спектрах, последовательность их кульминации и ход кривых. Это приводит к несравнимости данных при оценках компонентов спектров, получаемых в результате исследований.

3. Наиболее объективные результаты получаются при суммарном способе подсчета. Этому способу подсчета принадлежит, по-видимому, будущее.

4. На современном уровне развития палинологии, когда быстрыми темпами идет накопление фактического материала, необходимо унифицировать способы оценки и расчетов данных при пыльцевом анализе образцов из отложений четвертичного возраста и способы построения спорово-пыльцевых диаграмм (Левковская, 1965: 257–58).

Все представленные выше выводы Г.М. Левковской остаются убедительными и правомерными и теперь, в XXI веке, хотя со времени публикации статьи прошло более 50 лет.

У истоков метода пыльцевого анализа в России стоял В.П. Гричук. Роль его в разработке методических и теоретических основ этого метода огромна (Сладков, 1967; Проблемы ..., 1984; Палеогеография Европы..., 1982 и др.).

В основе метода пыльцевого анализа лежит, как известно, принцип актуализма. «There is only one fact in pollen analysis that always holds true: a pollen grain of a plant species came from of specimen of that species» [«Есть только один факт в пыльцевом анализе, который всегда остается верным: пыльцевые зерна видов растений происходят от тех же самых особей видов растений» (Fegri and Iversen, 1989: 137)]. Но есть еще и другой факт, который, по нашему мнению, остается тоже всегда верным – это тот факт, что пыльца, споры растений, оседая на поверхность Земли, формируют спорово-пыльцевые спектры (СПС).

Что такое спорово-пыльцевой спектр? Это понятие трактуется в литературе все еще по-разному. На взгляд А.Н. Сладкова (1967) и наш взгляд, наиболее точное определение этого понятия дали В.П. Гричук и Е.Д. Заклинская (1948): *Под спорово-пыльцевым спектром понимается совокупность пыльцы, спор растений как выпадающих на современную земную поверхность, так и обнаруживаемых в ископаемом состоянии, выраженная в виде процентного соотношения составляющих их компонентов.*

Большая заслуга В.П. Гричука состоит в том, что для оценки пыльцевых спектров он ввел три группы компонентов спектра: пыльца деревьев («древесная пыльца»); пыльца трав, кустарников и кустарничков («недревесная пыльца»); споры споровых растений. Также он ввел вычисление процентных соотношений компонентов внутри каждой из групп и процентных соотношений между названными выше группами – «**общий состав**» (Гричук, 1948). Этот прием используется в течение многих лет при изучении отложений разного генезиса и возраста, в том числе и при оценке состава СПС современных поверхностных проб.

Метод оценки спорово-пыльцевых спектров по группам был усовершенствован нами при изучении остатков пищи ископаемых растительноядных животных, отложений, вмещающих останки

фауны, одновозрастных отложений. При этом необходимо было выяснить, с одной стороны, насколько адекватно отражает состав спорово-пыльцевых спектров содержимого кишечных трактов животных зональные особенности растительности районов их обитания и гибели, а с другой стороны, соотношение тех или других групп растений в рационах их питания. В связи с этим нами была принята единая методика оценки состава пыльцевых спектров проб, отбираемых из различных отделов желудочно-кишечных трактов ископаемых животных, отложений, в которых животные погребены, поверхностных проб районов их находок. Состав спектров названных выше проб подразделялся на четыре группы (кластера), соответствующие четырем группам жизненных форм растений: 1) пыльца деревьев; 2) пыльца кустарников и кустарничков; 3) пыльца трав и мелких кустарничков (*Dryas*, *Cassiope*, *Vaccinium*); 4) споры споровых растений; кроме того, в группе пыльцы трав выделялись еще три подгруппы – злаков, осоковых и разнотравья (Украинцева, 2005; Ukraintseva, 1993; 2013). Благодаря такому приему был установлен тот общий критерий, который был использован как для реконструкции сообществ зональных типов растительности, так и для оценки тех или других групп растений в рационе питания животных. Оказалось, что этим критерием является **общий состав спорово-пыльцевых спектров**. Именно здесь следует отметить тот факт, что по такому методу нами впервые было проведено изучение отложений Голоцена на полуострове Таймыр (Культина, Ловелиус, Костюкевич, 1974) и в Якутии (Белорусова, Ловелиус, Украинцева (Культина), 1977). Это позволило надежно разграничить состав спорово-пыльцевых спектров тундр и лесных спектров.

В настоящее время кластерный анализ получил широкое использование в различных областях знаний. Кластер (cluster – гроздь, скопление, группа) – объединение нескольких однородных элементов, которые можно рассматривать как самостоятельные единицы. Понятие «кластер» может использоваться как в целях анализа, так и в практических целях при прогнозах климата, в экономике, логистике (Зеленая логистика: концепция минимизации ..., 2016) и т.д.

Термин «общий состав», впервые введенный в практику пыльцевого анализа В.П. Гричуком, – понятие интегральное. Это

фундаментальное понятие биогеографического уровня, которое имеет важнейшее значение при реконструкции зональных типов растительности и ландшафтов, их эволюции во времени-пространстве, при реконструкциях климатов прошлого и прогнозирования изменений климата в будущем. Именно общий состав спорово-пыльцевых спектров, как рецентных, так и ископаемых, отражает зональную структуру растительных ассоциаций. Ассоциация в широком понимании – это основное подразделение растительного покрова, представленное коренной структурой (Сочава, 1980).

Многочисленными работами как отечественных, так и зарубежных исследователей установлено, что хотя связь между составом СПС и растительностью, их продуцирующей, существует, она не является однозначной, «зеркальной» (Сладков, 1967). Связь эта сложна и многообразна, что зависит от ряда факторов объективного и субъективного характера, например, от методологических подходов изучения растительности, методики отбора и изучения проб, наличия сравнительных коллекционных фондов, от уровня подготовки специалистов и т.д.

Конечно, результативным сравнение спорово-пыльцевых спектров поверхностных проб и состава растительного покрова может быть лишь в том случае, когда последний либо уже достаточно хорошо изучен фитоценотически, либо изучается одновременно с отбором поверхностных проб на спорово-пыльцевой анализ (Сладков, 1967: 23).

На то, что есть связь между составом спорово-пыльцевых спектров и растительностью, продуцирующей те или другие типы спорово-пыльцевых спектров, указывается во многих работах как отечественных, так и зарубежных исследователей. Достаточно основательный обзор такого рода работ был сделан Ю.П. Кожевниковым (1995) и А.К. Васильчук (2007), поэтому нет необходимости делать снова такого рода обзор. Что касается связи между ископаемыми СПС и спектрами современных поверхностных проб, то связь эта, естественно, существует. Если есть связь между двумя сравниваемыми компонентами, то должен существовать критерий, который эту связь отражает. Казалось бы, решение проблемы, от которой зависит объективная оценка ископаемых СПС, заложенная в ключевой формулировке СПС, лежит на поверхности, но в течение многих лет оно так и не было найдено;

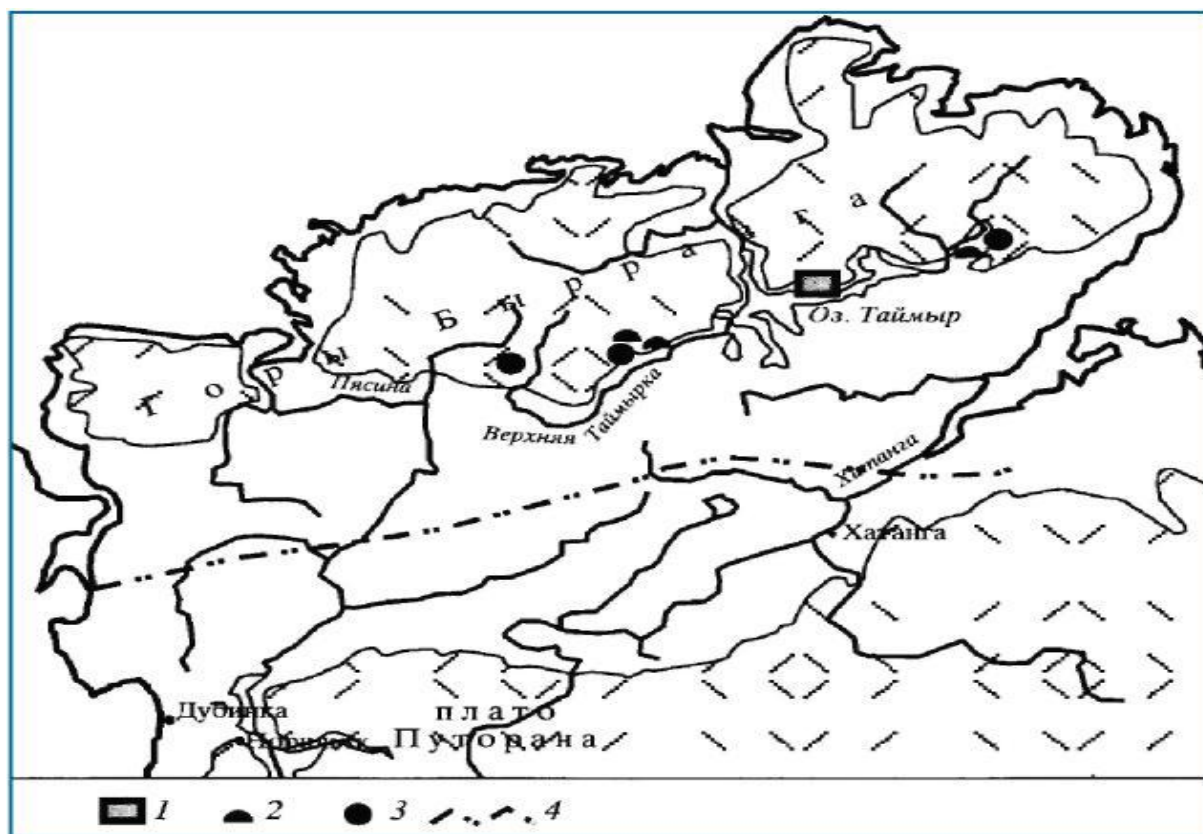
вышеназванный критерий так и не был установлен. Можно сколько угодно говорить о сходстве или различии тех или других компонентов и явлений в природе путем сравнения их в количественных или в процентных соотношениях, но если нет критериев, подтверждающих их сходство или различие, то доказать или опровергнуть на словах это сходство или различие весьма сложно. Таким образом, элемент субъективизма при трактовке ископаемых СПС как был, так и все еще остается одним из слабых мест метода спорово-пыльцевого анализа. Это уже в начале 1990-х годов понимал сам В.П. Гричук. Вот что он писал по этому поводу: «Результаты спорово-пыльцевого анализа, представленные в виде традиционных диаграмм, имеют исключительное значение при выделении в толще четвертичных отложений слоев, относящихся к межледниковым и ледниковым эпохам. *Однако при решении корреляционных задач реальное значение полученных данных сравнительно невелико. Достаточная достоверность корреляционных построений в каждом отдельном случае существует лишь в пределах ограниченного района со сходными природными условиями. Более удаленные корреляции уже неизбежно включают элемент субъективизма*» (Гричук, 1984: 54).

Объективная связь между настоящим и прошлым, а именно – между составом ископаемых СПС и составом СПС современных поверхностных проб, вытекает из приведенного выше *ключевого определения спорово-пыльцевого спектра*, данного В.П. Гричуком и Е.Д. Заклинской (1948). Связь эту все же, наконец, удалось установить и выразить через критерий, который был назван нами «индексом сходства» – Similarity Index (Ukrainitseva, 2005).

Ниже представлены результаты сопряженных ландшафтно-геоботанических исследований и изучения поверхностных проб методом пыльцевого анализа, взятых в одном из ключевых районов северо-востока полуострова Таймыр. Такого рода сопряженные детальные работы в практике пыльцевого анализа выполнены впервые, что имеет важное методологическое значение. Именно по такой методике необходимо работать с тем, чтобы получить объективное представление об уровне соответствия состава СПС составу тех растительных сообществ, которые их продуцируют в том или другом районе исследований.

Ландшафтно-геоботаническая характеристика района исследований

Район исследований – ключевой участок «Устье реки Оленья». Этот район охватывает северное побережье озера Таймыр от мыса Ближнего до устья реки Декадюкара-Тари (Загадочной), предгорную полосу до низкогорий Краевой гряды гор Бырранга, а на северо-западе протягивается до срединных районов озера Суровое. Площадь участка, включая акваторию озера Таймыр, вошедшего в него, составляет 710 кв. км. Координаты центра участка: 74°42' с.ш., 102°22' в.д. Участок включает горы и предгорья Главной гряды гор Бырранга, а также фрагментарную полосу приозерных низменностей озера Таймыр. В его пределы попадают фрагменты нескольких крупных морфоструктур: среднегорья Главной гряды гор Бырранга, низкогорья Краевой гряды гор Бырранга и предгорная равнина (рис. 2.1).



1 – район исследований; 2, 3 – ивняки; 4 – ольшаники, северная граница сплошного распространения.

Рисунок 2.1 – Район геоботанического изучения и отбора поверхностных проб в ключевом участке «Устье реки Оленья»¹

¹ Украинцева, Поспелов, 2006.

Геоботанические описания района исследований выполнены И.Н. Пospelовым. При этом охарактеризованы: ландшафт, его географическое положение, высота над уровнем моря; элементы форм рельефа, характер микрорельефа и его структурные элементы; тип растительности; доминанты растений, общее проективное покрытие, высота ярусов, обилие сосудистых растений, мохообразных, лишайников по шкале обилия Гультта-Друде и в процентах.

Низкогорья Краевой гряды обрамляют ключевой участок с севера в центральной части и предшествуют Главной гряде в западной части. Они сложены в основном алевритами с частыми выходами интрузивных даек долеритов и диабазов; известняки слагают гряды лишь на некоторых участках подгорных низкогорий. На большей части поверхности коренные породы перекрыты щебнисто-суглинистым криоэлювием. Максимальные абсолютные высоты составляют 339 м. Вершины хребтов платообразные, слабовыпуклые. Процессы криогенного выветривания распространены слабо, осыпей практически нет. Большая часть поверхности занята пятнистым нанорельефом разных стадий; на склонах развиты деллевые комплексы. Для макросклонов хребтов характерны подгорные сырые шлейфы, переходные от овражно-деллевых с обилием грубообломочного материала (крупных валунов), смещающихся вниз по склонам.

Предгорная равнина протягивается через весь участок с запада на восток, но характер слагающих ее пород резко меняется в центральной части участка. На западе участка для предгорной равнины характерна небольшая мощность рыхлых четвертичных отложений, преимущественно морских, каргинского и более раннего возраста. Коренные породы представлены алевритами, песчаниками; в нескольких местах отмечены выходы известняков. Рельеф здесь расчленен довольно резко, склоны холмов крутые. В центральной части между реками Медвежья и Оленья в сложении предгорной равнины преобладают морские песчано-галичниковые отложения каргинского возраста, слагающие террасы высотой 90–110 и 140–160 м. Крупнейшие реки территории этого ключевого участка – река Постоянная с крупным притоком рекой Озерной и река Оленья с крупным притоком рекой Широтная. Обе эти реки имеют глубоко врезуемые долины с довольно

широкими днищами. Здесь представлены низкая и высокая поймы и до 2-х надпойменных террас. Комплексы болот на террасах распространены фрагментарно.

На участке два крупных озера – собственно озеро Таймыр и горное озеро Суровое. Это озеро сходно с аналогичными озерами разломного характера Левинсон-Лессинга, Горное, Щель и т.д. Оно находится в разломе с очень крутыми склонами и, по-видимому, имеет значительные глубины.

Флора и растительность

В силу значительного ландшафтного разнообразия разнообразна и растительность исследуемой территории. В горах развита высотная поясность, однако из-за их пологих южных склонов здесь практически не развит пояс красочных лугов; они представлены лишь по каньонам рек и скальным останцам. Верхняя граница доминирования дриады (граница нижнего высотного пояса и зональных тундр) проходит на высоте 320–350 м. Выше, на субгоризонтальных поверхностях и умеренно крутых склонах, доминирует ивка полярная. На высотах свыше 500 м развиты холодные горные пустыни – глыбовые развалы с отдельным разнотравьем или мелкотравно-фиппсицево-моховые тундры на дисперсных грунтах.

Низкогорья Краевой гряды гор Бырранга отличаются практическим отсутствием высотной поясности; только на вершине Краевой гряды начинается смена в сообществах дриады карликовой ивкой полярной. Зато для Краевой гряды характерен другой горный пояс подгорных слитно-деллевых кустарниково-кустарничково-осоково-пушицево-моховых шлейфов, пятнистые дриадово-арктосибирскоосоковые-моховые тундры; на щебнистых грунтах – разнотравно-ракомитриево-дриадовые тундры; в деллях и на сырых шлейфах – ползучеивово-одноцветково-осоково-пушицево-моховые тундры. В крупных и средних речных долинах низкие поймы занимают группировки разнотравья (*Artemisia borealis*, *Chamaenerion latifolium*, *Papaver polare*); на высоких поймах развиты разреженные дриадово-разнотравные тундры. В крупных долинах галичные низкие террасы занимают красочные разнотравные луга с доминированием *Oxytropis*

middendorffii в период цветения, аналогичные таковым в межгорных котловинах гор Бырранга.

Болотная растительность участка типична для зоны – это гомогенные осоково-моховые и мохово-осоковые, полигонально-валиковые с кустарничково-осоково-томентгипновыми валиками, плоскополигональные с кустарниково-осоковосфагновыми валиками, плоскобугристые с ерниково-политриховыми буграми болота; последние встречаются редко.

Из интересных растительных сообществ необходимо отметить растительность выходов засоленных глин и обнажений меловых песков. На участках оползней морских глин в среднем течении реки Левой при общем покрытии растительности около 10% доминируют *Puccinellia angustata*, *Deschampsia glauca*, *Poa alpigena*, а в весеннее время аспектирует *Papaver polare*; только здесь встречены *Elymus vassiljevi* и *Taraxacum phymatocarpum*. На обнажениях меловых песков развиты разреженные разнотравные группировки из *Trisetum spicatum*, *Cerastium maximum*, *Armeria maritima*, встречался *Rumex graminifolius*.

Флора сосудистых растений ключевого участка насчитывает 272 вида растений. По ряду признаков она является пограничной между западной и центральной частью Восточного Таймыра. Так, здесь была обнаружена самая западная находка *Endocellion glaciale* и самая восточная – *Delphinium middendorffii*.

Ниже приведены детальные геоботанические описания мест взятия двух поверхностных проб; геоботанические описания мест взятия всех исследованных нами проб приведены в нашей работе (Украинцева, Поспелов, 2006).

ОПИСАНИЕ № 1. Устье реки Оленья, главная гряда гор Бырранга, 500 м к северо-востоку от вершины 339 на Краевой гряде, верховья р. Правый (рис. 2.1); водораздел; высота 310 м над уровнем моря (н.у.м.). Каменистая пятнистая тундра со слабовыпуклыми пятнами диаметром 40–100 см; пятен до 30%; пятна разделены трещинами глубиной до 10 см; с поверхности обломочный алевролитовый материал с примесью мелкозема.

ТИП РАСТИТЕЛЬНОСТИ: моховой; общее проективное покрытие – 70%.

ДОМИНАНТЫ (покрытие по убыванию): *Tomenthyrnum nitens* + *Aulacomnium turgidum* + *Polytrichum sp.* + *Rhacomitrium lanugonosum* + *Dicranum sp.* *Carex arctisibirica* – 25%, *Salix polaris* – 15%

СОСУДИСТЫЕ РАСТЕНИЯ: *Carex arctisibirica* – cd(cop₂) 15–20%, *Salix polaris* – cd (cop₂) 10–15%, *Deschampsia borealis* – sp – cop₁, 3%, *Deschampsia brevifolia* – sp – cop₁, 3%, *Arctagrostis latifolia* – sp – cop₁, 2–3%, *Luzula nivalis* – sp – cop₁, *Poa pseudoabbreviata* – sp – cop₁, *Festuca brachyphylla* – sol, *Minuartia macrocarpa* – sp – cop₁, *Achoriphragma nudicaule* – un, *Stellaria crassipes* – sol, *Luzula confusa* – sol, *Cerastium bialynickii* – sp – cop₁, *Juncus biglumis* – sol, *Eritrichum villosum subsp. pulvinatum* – sp – cop₁, *Ranunculus nivalis* – sol, *Alopecurus alpinus* – sol, *Saxifraga nivalis* – sol, *Saxifraga glutinosa* – sp – cop₁, *Minuartia arctica* – sol, *Novosieversia glacialis* – sp – cop₁, *Lagotis minor* – sol, *Draba subcapitata* – sol, *Eutrema edwardsii* – sol, *Draba pilosa* – sp – cop₁, *Poa glauca* – sol, *Poa arctica* – sol, *Poa alpigena* – sol, *Cardamine bellidifolia* – sp – cop₁, *Saxifraga nelsoniana* – sol.

МОХООБРАЗНЫЕ: *Tomenthyrnum nitens* – d (cop₃) 40%, *Aulacomnium turgidum* – cd (cop₂) 10%, *Polytrichum sp.-d* (cop₃) 15–20%, *Rhacomitrium lanuginosum* 15–20%, *Dicranum sp.* – cd (cop₂) 10%.

ДИАГНОЗ АССОЦИАЦИИ № 1. Полярноивково-арктосибирскоосоково-смешанномоховая: *Tomenthyrnum nitens* + *Aulacomnium turgidum* + *Polytrichum sp.* + *Rhacomitrium lanugonosum* + *Dicranum sp.* – *Carex arctisibirica* – *Salix polaris*.

ОПИСАНИЕ № 6. Устье реки Оленья. Предгорная гляциально-морская равнина. Низкий водораздел между ручьем Правым и его правым снизу притоком; высота н.у.м. 65 м. Бугорково-пятнистая щебнисто-суглинистая тундра, пятна вогнутые, пониженные, утопленные, бугорки высотой до 40 см сложены осоковыми кочками, пятна 30–80 см в диаметре.

ТИП РАСТИТЕЛЬНОСТИ: травяной, общее проективное покрытие 75%.

ДОМИНАНТЫ (по убыванию): *Carex arctisibirica* (50%), *Tomenthyrnum nitens* + *Hylocomium splendens var. obtusifolium* – 45%, *Dryas punctata* – 40%.

СОСУДИСТЫЕ РАСТЕНИЯ: *Carex arctisibirica* – d (cop₃) 50%, *Dryas punctata* – d (cop₃) 30–40%, *Deschampsia boreallis* – sp – cop₁ до 10%, *Deschampsia glauca* – sp – cop₁ до 10%, *Gastrolychnis apetala* – sp – cop₁, *Bistorta elliptica* – sp – cop₁, *Bistorta vivipara* – sol, *Luzula nivalis* – sp – cop₁, *Luzula confusa* – sp – cop₁, *Juncus biglumis* – sp – cop₁, *Carex misandra* – sp – cop₁, *Lagotis minor* – sp – cop₁, *Festuca brachyphylla* – sol, *Arctagrostis latifolia* – sp – cop₁ до 3%, *Valeriana capitata* – sp – cop₁, *Poa alpigena* – sp – cop₁, *Astragalus umbellatus* – sol, *Saxifraga nelsoniana* – sp – cop₁, *Minuartia macrocarpa* – sp-cop₁, *Salix reptans* – sp – cop₁, *Salix polaris* – cd (cop₂) до 5–7%, *Saxifraga cernua* – sp – cop₁, *Stellaria ciliatosepala* – sol, *Cerastium regelii* – sp – cop₁, *Saxifraga foliolosa* – sol, *Saxifraga hirculus* – sp – cop₁.

МОХООБРАЗНЫЕ. *Tomenthypnum nitens* – d (cop₃) 30%; *Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp. var. *obtusifolium* – cd (cop₂) 10–15%, *Dicranum* sp. – sp – cop₁, *Polytrichum* sp. – sp – cop₁, *Aulacomnium turgidum* – sp. – cop₁.

ДИАГНОЗ АССОЦИАЦИИ № 6. Дриадово-томентгипново-арктоси-бирскоосоковая – *Carex arctisibirica* – *Tomenthypnum nitens* – *Hylocomium splendens* var. *obtusifolium* – *Dryas punctata* (Украинцева, Поспелов, 2006).

Спорово-пыльцевой анализ поверхностных проб

На охарактеризованном выше ключевом участке «Устье реки Оленья» при описаниях растительного покрова в шести точках было взято семь поверхностных проб (рис. 2.2); их номера соответствуют номерам геоботанических описаний. В точке № 2 взято две поверхностные пробы – № 02а и № 02б, что обусловлено особенностями локальных ассоциаций растительного покрова в этом месте. Пробы отбирали с поверхности почв или моховых дернин, вырезая ножом квадрат пробы размером 10×10 см и толщиной 1,0–1,5 см; документировали пробы под соответствующими номерами и помещали в полиэтиленовые пакеты. В последующем пробы обрабатывали по традиционной методике путем кипячения в 15% растворе пиррофосфата натрия. Полученные путем последующего центрифугирования образцы ацетализировали в течение 1,5–2,0 минут (Erdtman, 1960). Пробы исследовали, используя

микроскоп МББ-1А при 900-кратном увеличении. Участие пыльцы, спор растений в составе СПС оценивалось в абсолютных величинах и в процентных выражениях. Названия пыльцы, спор растений приведено в соответствии со сводкой Черепанова (1995).

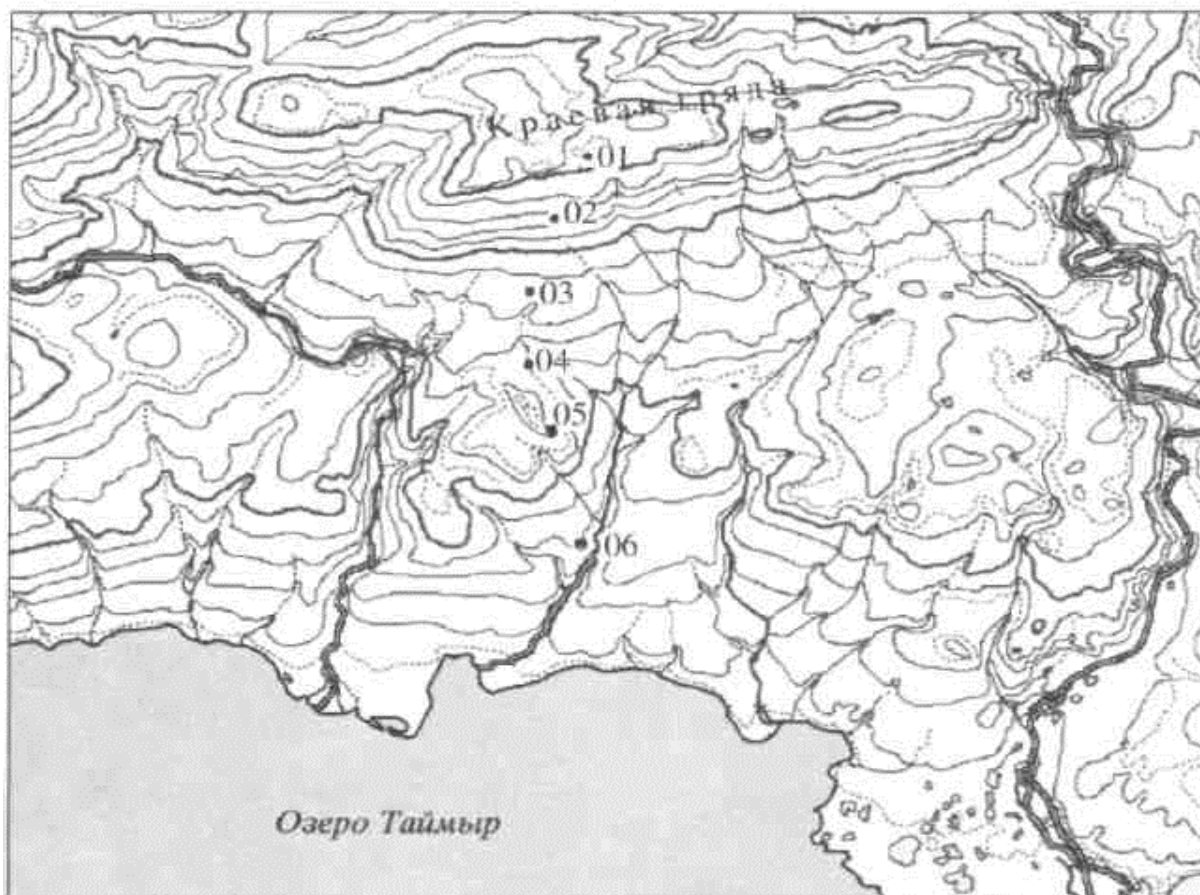


Рисунок 2.2 – Местоположение точек отбора поверхностных проб для спорово-пыльцевого анализа по профилю в рамках геоботанических описаний «Устье реки Оленья»¹

Анализируя полученные данные (Украинцева, Поспелов, 2006), прежде всего, следует отметить, что пробы № 01, 02б, 03–06 насыщены пыльцой и спорами растений достаточно высоко (подсчет пыльцы, спор в каждой из перечисленных проб сделан с одного препарата). Насыщенность пробы № 02а пыльцой и спорами растений оказалась очень низкой, хотя крупных органических остатков в ней было достаточно много. В связи с этим было про-

¹ Украинцева, Поспелов, 2006.

анализировано два препарата при 900-кратном увеличении. Эта поверхностная проба была отобрана в полярноивково-осоково-томентгипновой ассоциации (*Tomenthypnum nitens* + *Polytricum strictum* – *Carex arctisibirica* + *Eriophorum polystachion* + *Carex concolor* – *Salix polaris*). В сложении этой ассоциации участвует 19 видов цветковых растений и два вида мхов. Доминанты: *Carex arctisibirica* – d (cop₃) 30% и *Salix polaris* – d (cop₃) 20%; содоминанты: *Eriophorum polystachion* – cd (cop₂) 10% и *Carex concolor* – cd (cop₂) 5%. Причины очень низкого насыщения этой пробы пылью, спорами растений неясны. Можно предположить, по крайней мере, две причины этого явления. Первая причина: пыльца, споры растений, произраставших в месте отбора этой пробы, вымывались из моховой дернины водотоками, т.к. это разрушенный деллевый участок склона крутизной 5–70, 270 м н.у.м. Пыльцу, споры растений, произраставших в этом месте, могли поедать консументы – фитофаги. К этой группе относятся шмели, двукрылые, жуки-листоеды, жужелицы, галицы, чешуекрылые, головня. К обоснованию второй причины склоняет тот факт, что при анализе этой пробы на предметном стекле под микроскопом отчетливо была видна картина поглощения пыльцы каким-то микроорганизмом – фитофагом (рис. 2.3).

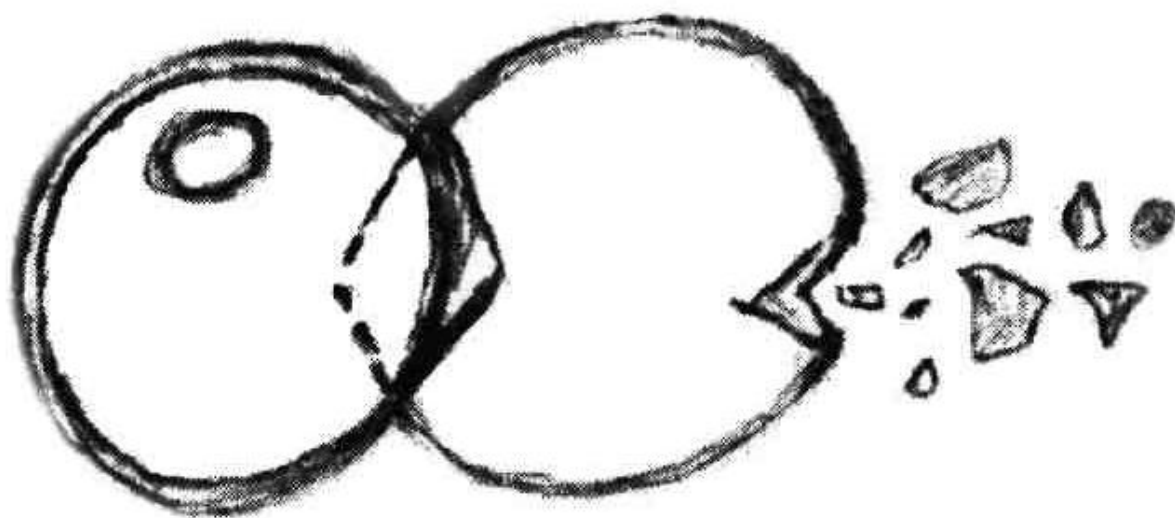


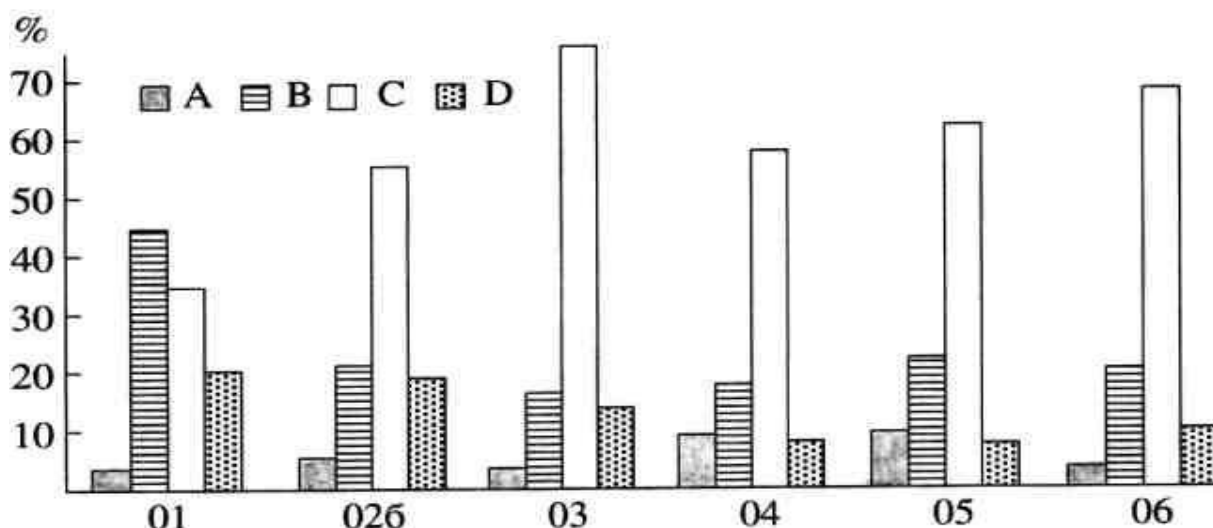
Рисунок 2.3 – Фитофаг, поглощающий пыльцу злака (*Poaceae gen. et sp.*)¹

¹ Рисунок В.В. Украинцевой. Вид под микроскопом МББ-1А, увеличение 900X.

Фитофаг был объемным, внутри полым, фактически бесцветным. Справа отчетливо видны бесформенные фрагменты переработанной им органики; с левой стороны – пыльца какого-то злака. Мы останавливаемся столь подробно на этом факте в связи с тем, что такого рода факты очень важны для понимания тафономии формирования СПС и для интерпретации фоссильных спорово-пыльцевых спектров.

В составе СПС проб № 01, 02б, 03-06 установлено три группы пыльцы цветковых растений и группа спор споровых растений:

- 1) Пыльца деревьев;
- 2) Пыльца кустарников и кустарничков;
- 3) Пыльца трав и мелких кустарничков (*Dryas*, *Cassiope* и др.);
- 4) споры мхов, в основном мхов зеленых (*Musci*) (рис. 2.4).

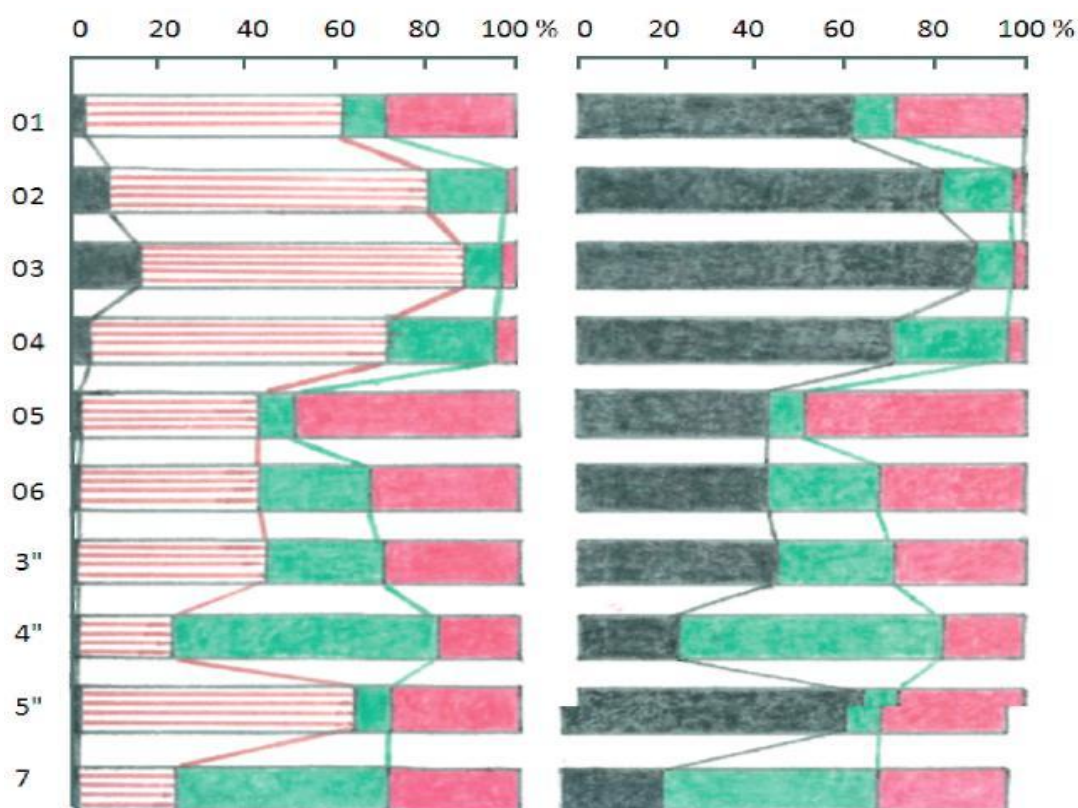


A – пыльца деревьев; *B* – пыльца кустарников и кустарничков; *C* – пыльца травянистых растений и мелких кустарничков; *D* – споры споровых растений.

Рисунок 2.4 – Гистограммы, характеризующие общий состав спорово-пыльцевых спектров поверхностных проб, отобранных по профилю при проведении геоботанических исследований на ключевом участке «Устье реки Оленья»

Участие пыльцы деревьев в составе СПС очень низкое: мин. = 2,7%, средн. = 5,2%, макс. = 9,0–25%. Также мало спор споровых растений: мин. = 6,6%; средн. = 12,2%; макс. = 19,0%. Доминирует пыльца трав и мелких кустарничков: мин. = 34,0%; средн. = 57,5%; макс. = 68,2%. Пыльца кустарников составляет минимально 16,2%; в среднем – 25,0%, максимально – 44,0%.

Левая панель рисунка 2.5 наглядно иллюстрирует спектры растительного покрова тундрового типа в районе наших исследований в «Устье реки Оленья»; тогда как правая панель этого же рисунка отражает спектры тех же самых проб как спектры лесного типа. Следовательно, объединение пыльцы деревьев, кустарников и кустарничков в одну группу привело к искажению информации о зональном типе растительного покрова в этом районе. Таким образом, график наглядно иллюстрирует преимущество оценки общего состава спорово-пыльцевых спектров по четырём группам его компонентов.



Пыльца деревьев – черный цвет; пыльца кустарников и кустарничков – штрих; пыльца травянистых растений и мелких кустарничков – зеленый цвет; споры споровых растений – красный цвет.

Рисунок 2.5 – Состав спорово-пыльцевых спектров поверхностных проб № 01–06, отобранных по профилю при проведении геоботанических исследований на ключевом участке «Устье реки Оленья» (рис. 2.2)¹

¹ Поверхностные пробы № 3''–5'', 7 были взяты Ю.П. Кожевниковым в бассейне реки Чантальвергын, Чукотка, исследованы также В.В. Украинцевой. Левая панель рисунка – расчет процентных соотношений пыльцы и спор в общем составе СПС сделан по четырём группам; правая панель – расчет процентных соотношений пыльцы и спор общего состава СПС для сравнения сделан по трем группам.

Охарактеризованный выше состав СПС поверхностных проб отражает объективно зональный тип тундровой растительности района наших исследований. Очень низкое содержание пыльцы деревьев в составе СПС является бесспорным свидетельством того, что пыльца лиственницы *Larix gmelinii*, ели *Picea obovata*, кедра *Pinus sibirica*, березы *Betula pubescens* является дальнезаносной. Сплошной ареал лиственницы находится в 300–350 км от этого района; ареал ели – в 500–700 км; березы – в 500 км; кедра – в 1300–1350 км (Соколов, Связева, Кубли, 1977). В группе кустарниковых растений установлена пыльца кедрового стланика *Pinus pumila*, ольховника *Duschekia (Alnaster) fruticosa*, и в *Salix spp.* Пыльца кедрового стланика является также дальнезаносной. Ареал его сплошного распространения находится в 1250 км от района наших исследований, а отдельные кусты растут в 750–800 км. Что касается пыльцы ольховника, то высокое ее содержание в составе СПС проб № 03–06 (29,6%, 32,6%, 19,7% и 36,9% соответственно) является бесспорным доказательством того, что ее продуцировали те растения, которые росли в местах отбора указанных проб. Приведенные данные согласуются с данными, полученными по бассейну реки Чантальвеергын, Чукотка (рис. 2.4, пробы № 3"–5", 7). В местах произрастания ольховника в этом районе его пыльца в составе СПС составляет от 31% до 71,9%; на границе с массивом ольшатника – лишь 3,2%, а в составе СПС поверхностной пробы, взятой у старицы реки с наилка, где ольховник не рос, пыльца его составляла 18,7%. Следовательно, у нас есть все основания полагать, что основная масса пыльцы этого кустарника оседает в радиусе его произрастания. И все же часть ее переносится токами воздуха или водотоками на менее или более дальние расстояния и принимает участие в формировании СПС поверхностных проб. Следовательно, только небольшое количество пыльцы ольховника *Duschekia fruticosa* в составе СПС как поверхностных, так и фоссильных СПС может (и должно!) служить надежным критерием того, что этот кустарник не произрастал в том или в другом районе исследований в определенный временной интервал.

Сплошной ареал распространения ольховника на Таймыре находится в 150–200 км южнее района наших исследований и взя-

тия поверхностных проб в районе устья реки Оленья. Самая северная находка ольховника на Таймыре известна в 160–170 км северо-восточнее этого района. Она приурочена к бассейну реки Малахай-Тари (75°15' с.ш., 107° в.д.). Здесь, близ устья реки Русская, Ю.П. Кожевников нашел на автотрофном крутом шлейфе горы, обращенном в долину (на запад), один клон ольховника высотой 45–50 см с побегами до одного метра длиной, занимавший площадь 10–12 м² и окруженный плотным бордюром из березки карликовой *Betula nana* (Кожевников, 1982). **Только здесь!** (Подчеркнуто Ю.П. Кожевниковым в 1982 году). Вышеприведенные координаты этой находки были вычислены позже (В.В. Украинцева). Для этого была использована схема маршрута полевых исследований Кожевникова (Кожевников, 1996) и карта масштаба 1:2 500 000.

В 1995–1997 гг. реликтовые высокоствольные ивняки и ольшатники были обнаружены в юго-западной части гор Бырранга в бассейнах рек Фадьюкуда, Терисейми-Тари и Дябака-Тари. Это в 190 км юго-западнее района наших исследований в бассейне реки Оленья. Здесь в предгорьях, на южном склоне горы, на границе с депрессией реки Фадьюкуда было обнаружено несколько участков густых зарослей ольховника на склонах южной и юго-западной экспозиции. Наиболее северный и при этом наиболее крупный фрагмент таких зарослей расположен на южном склоне гор в долине реки Фадьюкуда в районе устья ручья Мрачный (74°10' с.ш., 96°10' в.д.); протяженность этих зарослей ольховника около 4 км при ширине 200–500 метров (Поспелова, Поспелов, 2000). Заросли ольховников здесь очень густые, высота их достигает 70–80 см; ольховник обильно цвел и плодоносил. В его зарослях всегда обильны березка карликовая (*Betula nana*), багульник стелящийся (*Ledum decumbens*), голубика (*Vaccinium uliginosum subsp. microphyllum*), брусника (*V. minus*), грушанка (*Pyrola grandiflora*); часто встречаются мезоксерофильные осоки (*Carex macrogyna*, *C. rupestris*, *C. ledeburiana*); в моховом покрове – *Hylocomium splendens var. obtusifolium*, *Thuidium abietinum*, *Rhytidium rugosum*. Непосредственно под кустами ольховника другие растения, включая мхи, практически отсутствуют; встречаются лишь отдельные растения багульника, камнеломок, некоторых злаков, которые могут существовать под густым пологом ольховника в специфической теневой форме.

Что касается березки карликовой, то ее участия в составе ассоциаций в местах отбора проб не было зарегистрировано. Однако вдоль берега озера Таймыр по шлейфам, как отмечалось выше, березка карликовая встречалась, но уже в 2–3 км в удалении от берега озера ее в растительном покрове не было. Необходимо подчеркнуть, что пыльца березки карликовой встречается в составе СПС всех исследованных нами поверхностных проб. В составе СПС пробы № 06, взятой ближе всего к местам ее произрастания на шлейфах, содержание ее пыльцы в составе СПС составляет 30,8%; в составе СПС проб № 05, 04 и 03 – 33,0%, 29,4% и 19,2% соответственно; в составе спектра пробы № 02б – 10 пыльцевых зерен, в пробе № 02а – ее пыльцы нет, а в пробе № 01 – 29,8%. Достаточно высокое содержание пыльцы березки карликовой в составе СПС проб № 03–06 дает основание полагать, что березка в местах взятия проб произрастала в недалеком прошлом. Этот вывод также подтверждают результаты исследований поверхностных проб, проведенных автором в бассейне реки Чантальвеергын, Чукотка. В составе СПС поверхностных проб, взятых здесь в местах произрастания березки карликовой, содержание ее пыльцы хотя и колеблется, но достаточно высокое. Содержание пыльцы *Salix polaris*, выраженное в процентах, отражает ее роль адекватно в сообществах растительного покрова.

Таким образом, приведенные выше данные свидетельствуют о том, что состав СПС поверхностных проб, взятых в типичных тундрах в районе ключевого участка «Устье реки Оленья», отражает не столько современную ландшафтно-геоботаническую ситуацию этого региона, сколько ситуацию, предшествующую современной, порядка 500 лет назад (от 2003 года). В то время в предгорьях и горах Бырранга была развита растительность южно-тундрового типа с участием ольховника, высокоствольных и сопутствующих им видов других растений. Ареал ольховника, который в прошлом распространялся значительно севернее, прослеживается по его реликтовым находкам в восточной части предгорий и гор Бырранга (Кожевников, 1982, 1995) и в их западной части (Поспелова, Поспелов, 2000). Реконструированное нами произрастание ольховника на территории ключевого участка «Устье реки Оленья» впервые устранило разрыв между запад-

ной и восточной частями его сплошного ареала в этом регионе. Полученные данные – это бесспорное свидетельство того, что на исследованной нами территории (74°42' с.ш., 102°22' в.д.) около 500 лет назад существовали сообщества тундр южного типа. Следовательно, подзона южных тундр, в современном ее понимании, достигала тогда почти 75° с.ш., а ее протяженность по долготе составляла тогда порядка 200–300 км, а не 100–150 км, как в настоящее время (Матвеева, 1998).

В результате похолодания климата в течение Малого ледникового периода (1621–1830 гг.) происходит деградация тундр южного типа: из их состава выпадает ольховник, высокоствольные ивы, другие сопутствующие им виды растений.

Период Малой ледниковой эпохи прослеживается по дендрохронологическим данным от Кольского полуострова до полуострова Камчатка, в том числе в лесном массиве Ары-Мас в бассейне реки Хатанга (Ловелиус, 1979, 2001). Реакция деревьев на похолодание климата выражалась в сокращении прироста годовых колец почти вдвое по сравнению с более теплым предшествующим и последующим периодами. Генеративная сфера растений также отреагировала на это похолодание. В составе СПС исследованных нами проб № 04–06 была отмечена недоразвитая пыльца: деформированная, более мелких размеров, но со слоями экзины более или менее утолщенными или утонченными, что является показателем неблагоприятных климатических условий. Такого типа недоразвитая пыльца отмечена у *Duschekia fruticosa*, *Betula nana*, *Salix polaris*, *Bistorta elliptica*, *Dryas sp.*, *Taphroseris artopurpurea*, *Valeriana capitata*, *Artemisia borealis*, у некоторых представителей *Caryophyllaceae*. Например, в составе спектров пробы № 06 на недоразвитую пыльцу приходилось: у ольховника – 12 зерен из 24; у березки карликовой – 5 зерен из 20; у ивки полярной – 2 пыльцевых зерна из 5; у *Bistorta elliptica* – 8 пыльцевых зерен из 18; у *Dryas sp.* – 2 пыльцевых зерна из 6 зерен; у *Valeriana capitata* – 2 пыльцевых зерна из 4 пыльцевых зерен и т.д.

В основу реконструкции термических условий в период Малой ледниковой эпохи М.М. Чернявская (1985) положила дендрохронологические ряды, выявленные Н.В. Ловелиусом (1979). Эти уникальные данные позволили Чернявской установить, что от-

клонения температуры воздуха на севере Евразии в период 1600–1699 гг. составляли $-0,9^{\circ}\text{C}$; в период 1700–1799 гг. $-0,8^{\circ}\text{C}$ от средней температуры за 1881–1975 годы. В последующие 200 лет (1800–2000 гг.) в местах существования тундр южного типа формируются типичные тундры. Северная граница южных тундр постепенно сдвигается к югу и принимает современное очертание.

Заключение

Анализируя состав растений-доминантов и содоминантов в растительном покрове на территории ключевого участка «Устье реки Оленья» и состав пыльцы, спор тех же растений в составе спектров поверхностных проб, можно сделать следующие важные для актуалистических построений выводы.

1. Видовой состав пыльцы и спор растений-доминантов и содоминантов СПС вполне адекватно отражает видовой состав растений-доминантов и содоминантов ассоциаций в местах взятия поверхностных проб.

2. Содержание пыльцы и спор растений, выраженное в процентах, не вполне адекватно отражает роль тех или других растений в современном растительном покрове в местах взятия поверхностных проб. В составе СПС одних проб установлена прямая связь «растение – количество продуцируемой пыльцы», выраженное в процентах; в других такой связи не наблюдается. Так, роль *Carex arctisibirica* как доминанта адекватно отражена содержанием пыльцы в составе СПС (пробы № 01, 03), тогда как в пробах № 04 и 06 роль пыльцы этого вида значительно выше, чем роль растений в соответствующих ассоциациях. Что касается дриады *Dryas punctata*, то небольшое количество пыльцы этого растения в составе СПС проб № 03–06 не соответствует ее роли в современном растительном покрове, что может быть свидетельством того, что дриада не играла доминирующей роли в растительном покрове в районе исследований в недалеком прошлом.

3. Видовой состав мхов, являющихся доминантами и содоминантами в местах взятия проб № 01–04, 06, отражен адекватно видовым составом спор. Однако содержание спор мхов, выраженное в процентах, не отражает роли мхов в напочвенном покрове, кроме пробы № 03.

4. Растения, определенные в составе СПС изученных нами поверхностных проб, – это растения ценозо-образователи типичных тундр (Украинцева, Поспелов, 2006). Судя по содержанию их пыльцы, спор в составе СПС, роль этих растений в растительном покрове была тогда иной, чем в настоящее время (на 2003 г., когда были проведены геоботанические описания и сделан отбор проб). Это позволяет сделать вывод о том, что состав охарактеризованных выше СПС отражает не современную геоботаническую ситуацию района исследований, а ситуацию начальных стадий формирования здесь типичных тундр на месте тундр южного типа с участием ольховника, высокоствольных ивняков, березки карликовой и других сопутствующих им видов растений.

5. Метод оценки общего состава СПС по четырем группам его компонентов имеет принципиальное преимущество в сравнении с оценкой общего состава спектров по трем группам. Это, как показано выше, объективная реальность, и эту реальность следует учитывать вне всяких сомнений и без всякой предвзятости.

6. Только сопряженные геоботанические исследования и изучение поверхностных проб методом спорово-пыльцевого анализа позволяют получить объективную, исторически верную информацию о составе СПС поверхностных проб и степени соответствия их состава составу растительности и геоботанической ситуации того или другого района исследований. При этом пробы, отбираемые для изучения, должны быть в прямом смысле этого слова поверхностными. Их следует брать с поверхности почв, торфяников, наилков у берегов рек, озер и других водоемов до глубины 0,3–0,5 см, не более. Для отбора проб в стационарных условиях следует использовать специальные контейнеры (ведра); при этом верхний уровень контейнера должен быть расположен на уровне земной поверхности. Пробы, отобранные по такой методике, позволяют получить объективную информацию об адекватности состава СПС составу современной растительности.

7. Поверхностные пробы мощностью 1,0–1,5 см – это уже субфоссильные пробы. Это однозначно показали проведенные нами исследования в районе ключевого участка «Устье реки Оленья», Северо-восточный Таймыр.

8. Все изложенные выше факты являются бесспорным доказательством того, что фоссильные спорово-пыльцевые спектры – это надежные архивы, индикаторы и мониторы растительного покрова и климатов прошлого, их эволюции во времени-пространстве.

2.2 Новый метод оценки спорово-пыльцевых спектров

«I believe that vegetation can be taken as the best index for a comparison of environmental condition».

C. Epling, 1942

Как хорошо известно, метод спорово-пыльцевого анализа широко используется в геологии, в частности в фитостратиграфии, палеофлористике, в эволюционной географии (палеогеографии) и т.д. Особенно широко данные пыльцевого анализа используются в экономической геологии при поисках нефти, газа, цветных, редкоземельных металлов и т.д. Первый контакт экономической геологии и палинологии в форме пыльцевого анализа произошел в последний год Первой мировой войны (Erdtman, 1960).

Согласно К. Фегри и Дж. Иверсену, метод пыльцевого анализа основан на принципе актуализма: *«Есть только один факт в методе спорово-пыльцевого анализа, который всегда остается верным: пыльцевые зерна различных видов растений происходят от особей этих видов растений»* (Fegri and Iversen, 1989). По нашему мнению, есть еще и другой факт, который также всегда остается верным, – это тот факт, что пыльца, споры растений, оседая на поверхность Земли, формируют спорово-пыльцевые спектры. Понятие спорово-пыльцевого спектра, сформулированное выше, является ключевым, базисным понятием в области метода спорово-пыльцевого анализа. Именно из этого понятия вытекают, по нашему твердому убеждению, объективные связи фоссильных и рецентных спорово-пыльцевых спектров. Собственно, для выяснения такого рода связей и изучаются современные поверхностные пробы. В работах многих авторов на эти связи указывается, но только на словах. Связи же эти не простые, не «зеркальные», как писал А.Н. Сладков (1967); они многообразны и зависят как от объективных, так и субъективных факторов, включая профес-

сионизм исследователей. В тех случаях, когда поверхностные пробы изучаются методом спорово-пыльцевого анализа с учетом флоры и растительности любого из районов исследований, связь между таксономическим составом пыльцы и спор растений в поверхностных пробах и таксономическим составом растительного покрова может быть реально установлена и прослежена. Это однозначно доказывает сопряженный анализ таксономического состава современной растительности и таксономического состава спорово-пыльцевых спектров поверхностных проб, взятых в местах изучения растительного покрова в устье реки Оленья, Северо-восток полуострова Таймыр (параграф 2.1).

Следовательно, объективный критерий, который выражает связь современных поверхностных проб и фоссильных проб, должен существовать. Тем не менее, насколько нам известно, такого рода критерий ранее никем еще не был установлен.

Обдумывая эту важнейшую проблему снова и снова, мы пришли к твердому убеждению, что решить ее можно только путем количественных оценок. Ведь можно сколько угодно писать и говорить о сходстве или различии тех или иных природных явлений и событий, но если нет количественных характеристик, показывающих черты их сходства или различия, то доказать или опровергнуть на словах эти черты сходства или различия весьма сложно или вообще невозможно. Потребовались многие годы работ в районах Крайнего Севера для того, чтобы убедиться в том, что нужен новый, количественный подход для оценки фоссильных спорово-пыльцевых спектров и новый подход при реконструкции климатов прошлого на базе использования данных метода спорово-пыльцевого анализа.

Ниже представлен новый метод оценки фоссильных спорово-пыльцевых спектров, который позволяет выразить связи, существующие между компонентами ископаемых спорово-пыльцевых спектров и компонентами спектров современных поверхностных проб через индекс сходства – Similarity Index, SI (Ukraintseva, 2005). Этот метод разработан при изучении верхового торфяника на территории бассейна реки Фомич, юго-восточная часть полуострова Таймыр (Ukraintseva, 2005; Украинцева, Поспелов, 2006; Украинцева, Поспелов, 2012а, б). Используя оригинальные данные

М.И. Нейштадта и Л.Н. Тюлиной (1936), мы рассчитали индексы сходства для шести компонентов спорово-пыльцевых спектров из склоновых отложений реки Майн, приток реки Анадырь: *Abies*, *Alnus*, *Betula*, *Larix*, *Pinus Pumila*, *Salix*. Вычисленные индексы работают надежно на выводы авторов, сделанные почти 80 лет назад! Это дает основание полагать, что применение индексов сходства позволяет исключать элемент субъективизма при палеогеографических реконструкциях и корреляциях природных явлений и событий, о чем, как отмечено выше, писал в свое время В.П. Гричук.

Представленная ниже новая методика оценки фоссильных спорово-пыльцевых спектров разработана на основании данных, полученных при изучении конкретного геологического разреза. Это верховой торфяник на левом берегу реки Фомич, юго-восточная часть полуострова Таймыр ($71^{\circ}42'$ с.ш., $108^{\circ}03'$ в.д.) (рис. 2.6).

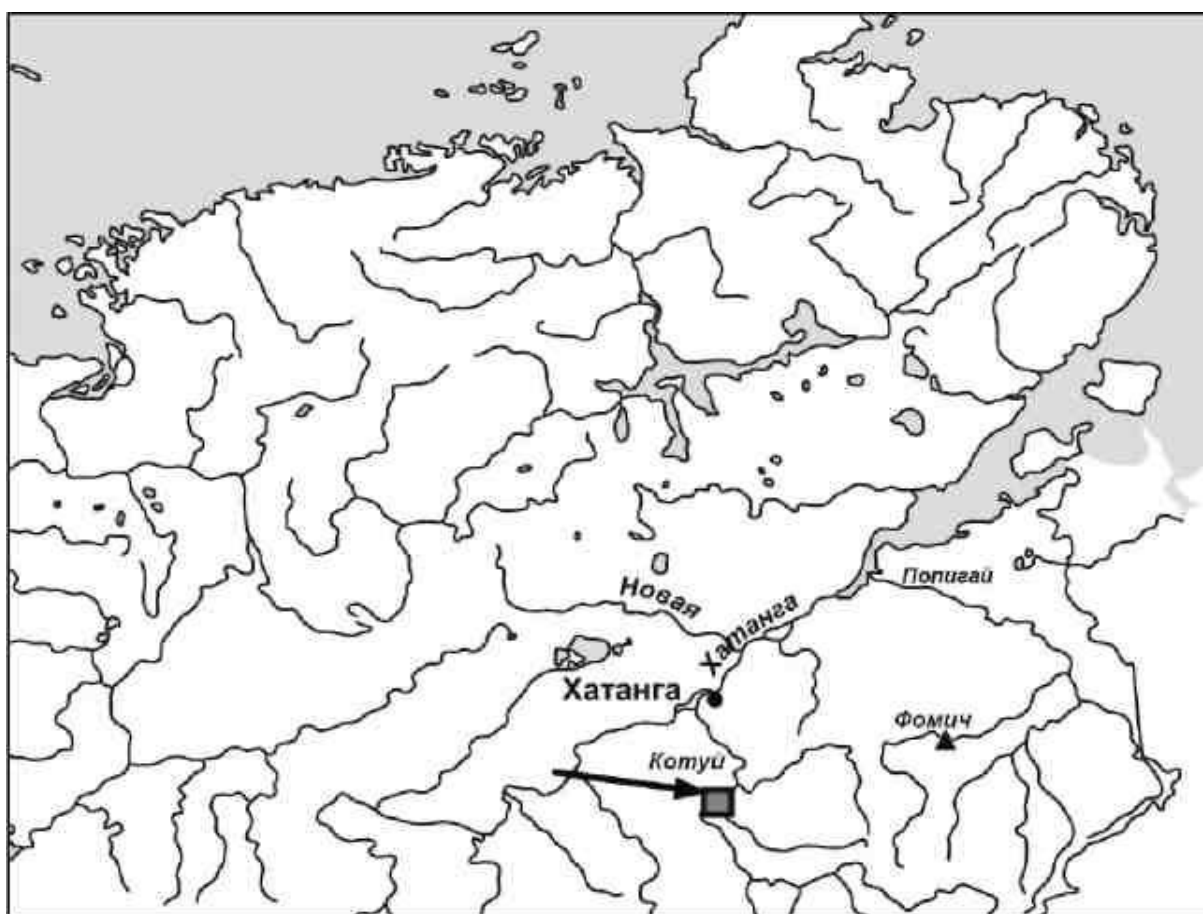


Рисунок 2.6 – Местоположение торфяника, исследованного на склоне террасы реки Фомич¹

¹ Указано треугольником.

Мощность торфяника составляет 2,62 метра; он формировался в течение всего голоцена; формирование было прервано 500±60 лет назад (1400–1470 лет до современности), когда торфяник был перекрыт слоем песка.

Торфяник надежно датирован семью радиоуглеродными датами, полученными в Лаборатории радиоуглеродного датирования в Санкт-Петербургском государственном университете (табл. 2.1).

Таблица 2.1 – Радиоуглеродные даты, полученные по пробам торфа, взятым из обнажения на левом берегу реки Фомич, юго-восток п-ова Таймыр

Номер образца	Лабораторный номер	¹⁴ C возраст (BP)	Календарный возраст
2	ЛУ-5139	500±60	1400–1470 гг. н.э.
3	ЛУ-5141	3660±60	2135–2079 гг. до н.э.
4	ЛУ-5142	5720±60	4669–4463 гг. до н.э.
5	ЛУ-5143	7040±60	5985–5841 гг. до н.э.
6	ЛУ-5144	7530±70	6443–6261 гг. до н.э.
7	ЛУ-5145	8150±60	7315–7065 гг. до н.э.
8	ЛУ-5140	10 500±140	10 650–10 275 гг. до н.э.

В окрестностях места нахождения торфяника И.Н. Поспеловым было сделано описание растительного покрова.

Из торфяника были взяты пробы на спорово-пыльцевой и на радиоуглеродный анализы. Рядом с торфяником в лиственничном кустарниково-осоково-моховом лесу, типичном для района исследований, была отобрана поверхностная проба на спорово-пыльцевой анализ.

Древесный ярус образует лиственница Гмелина *Larix gmelinii* – d (cop₃), высота которой достигает 7–10 м, диаметр ствола достигает 10–20 см, сомкнутость деревьев 0,3–0,6; кустарниковый ярус образован ольхой кустарниковой *Duschekia (Alnaster) fruticosa* (cd, cop₁, 15%), под пологом которой растут березка тощая *Betula exilis* (cd, cop₂, 10–20%) и багульник болотный *Ledum palustre* (cd, cop₂, 10–20%), в напочвенном покрове травы и мхи.

Методика

Для того чтобы рассчитать индексы сходства, следует произвести следующие действия.

1. В составе фоссильных и рецентных спорово-пыльцевых спектров необходимо выделить общий состав спектров, который включает четыре группы таксонов, соответствующих четырем группам жизненных форм растений:

- 1) пыльца деревьев;
- 2) пыльца кустарников и кустарничков;
- 3) пыльца трав и мелких кустарничков;
- 4) споры споровых растений (*Bryophyta* + *Pteridophyta*).

2. В таксономическом составе ископаемых и рецентных спорово-пыльцевых спектров следует выявить пыльцу, споры растений-доминантов и содоминантов.

3. Для названных выше четырех групп **общего состава** и групп растений-доминантов и содоминантов рассчитать индексы сходства. Представим формулу, по которой рассчитываются индексы сходства:

$$\frac{X}{Y} = SI, \quad (2.1)$$

где X – пыльца, споры растений любого ранга в составе фоссильных спорово-пыльцевых спектров, в %;

Y – пыльца, споры тех же самых таксонов растений в составе спорово-пыльцевых спектров современной поверхностной пробы (проб), в %;

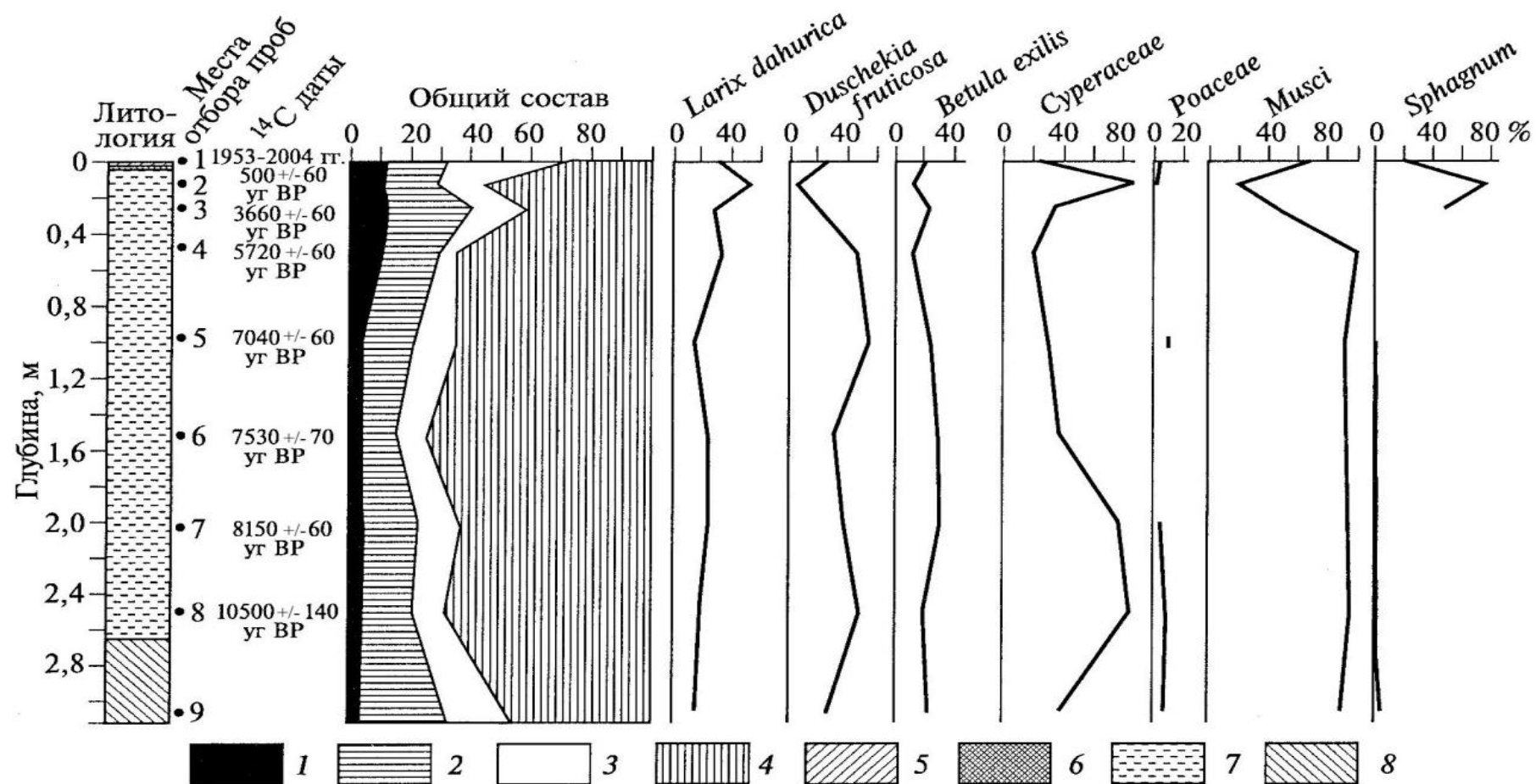
SI – индекс сходства (Similarity Index).

Индекс сходства – это и есть тот элемент, который позволяет выразить связь, существующую между компонентами ископаемых спорово-пыльцевых спектров и соответствующими компонентами спорово-пыльцевых спектров современных поверхностных проб. В числовом выражении – это десятичная дробь, выражаемая в следующем виде: $SI > 0$ или $= 0$. Графически – это точка на оси координат. Используя вышеприведенную формулу, разделим содержание любого из компонентов ископаемых спорово-пыльцевых спектров, выраженное в процентах, на содержание того же самого компонента современной поверхностной пробы, выраженное в процентах; в результате получим индекс сходства

для любого из компонентов фоссильных спорово-пыльцевых спектров. Поскольку состав спорово-пыльцевых спектров современных поверхностных проб принимается за эталон, отражающий состав современного растительного покрова района исследований, то содержание любого из компонентов спорово-пыльцевых спектров поверхностной пробы (проб), выраженное в процентах, правомерно приравнять к единице – ‘1’. Таким образом, через индексы сходства реализуется возможность выразить связь, существующую между прошлым и настоящим природной среды, а именно – между компонентами современного растительного покрова, а следовательно, и климата того или другого района исследований. Индексы сходства могут быть рассчитаны для любого компонента ископаемых спорово-пыльцевых спектров, но при условии, что отбор проб из отложений любого генезиса, поверхностных проб и изучение современного растительного покрова района исследований производится сопряженно или если современный растительный покров района исследований изучен достаточно хорошо. Методику вычисления индексов сходства наглядно иллюстрирует таблица 2.2.

Таблица 2.2 – Индексы сходства, рассчитанные для пыльцы и спор растений зонального и фитоценотического уровней в составе спорово-пыльцевых спектров проб, отобранных из разреза торфяника второй надпойменной террасы реки Фомич, п-ов Таймыр (рис. 2.7)

№ пробы, литология	Пыльца								
	Деревьев			<i>Larix gmelinii</i>			Дальнезаносная пыльца деревьев		
	Кол-во	%	SI	Кол-во	%	SI	Кол-во	%	SI
1, поверх. проба	78	18,6	1	53	12,6	1	25	5,9	1
2, торф	91	16,0	0,86	68	12,0	0,95	23	4,0	0,68
3, торф	63	20,0	1,1	42	13,4	1,06	21	6,6	1,1
4, торф	60	13,4	0,72	50	11,2	0,88	10	2,2	0,37
5, торф	18	4,6	0,25	14	3,6	0,28	4	1,0	0,17
6, торф	14	4,3	0,23	12	3,7	0,29	2	0,6	0,10
7, торф	29	5,9	0,32	28	5,7	0,45	1	0,2	0,03
8, торф	20	4,2	0,22	19	4,0	0,32	1	0,2	0,03
9, супесь	31	5,9	0,31	17	3,3	0,26	14	2,6	0,44



1 – пыльца деревьев; 2 – пыльца кустарников и кустарничков; 3 – пыльца трав и мелких кустарничков; 4 – споры Bryophyta, Pteridophyta, литологический состав; 5 – поверхностный слой дернины; 6 – песок; 7 – торф; 8 – сунель.

Рисунок 2.7 – Спорово-пыльцевая диаграмма отложений второй надпойменной террасы реки Фомич, юго-восток п-ова Таймыр

Данная диаграмма и графики индексов сходства дают возможность получить представление об эволюции растительного покрова района исследований на уровне зон и фитоценозов в течение всего голоцена.

В результате исследований, проведенных в этом ранее мало исследованном районе Таймыра, установлено два типа фитохрон: тундровый – 10500 ± 140 – 7040 ± 60 лет ВР (I_{1-4}) и лесной – 5720 ± 60 – 500 ± 60 лет ВР – современность (II_{1-4}) (рис. 2.9).

Введенный нами термин «фитохрон» обозначает тип растительного покрова, который существовал на исследуемой территории в прошлом и который характеризуется определенным сочетанием индексов сходства для групп пыльцы и спор растений зонального и фитоценотического уровней и соответствующими радиоуглеродными датами.

Все приведенные выше данные наглядно показывают характер изменений растительного покрова и климата в Юго-восточной части полуострова Таймыр на протяжении всего голоцена. Эти изменения, впервые выраженные через индексы сходства зональных элементов растительного покрова, объективно отражают связь современного растительного покрова и климата с растительным покровом и климатом, который существовал в этом регионе в течение последних 11–12 тысяч лет. Именно здесь необходимо отметить, что на огромной территории полуострова Таймыр пока все еще не было обнаружено такого полного разреза торфов, датируемого голоценом, насколько нам известно, хотя эта территория изучена достаточно хорошо в геолого-геоморфологическом и палеогеографическом отношениях (Антропоген Таймыра, 1982).

Индексы сходства, рассчитанные для оценки фоссильных спорово-пыльцевых спектров, были использованы для разработки нового метода реконструкции климатов прошлого (параграф 2.3) и для прогнозирования климатических изменений в будущем.

ФИТОХРОН		AD/ ¹⁴ C yrs BP	Индекс сходства (SI)	Температура, °C				Осадки, мм	
Название	Индекс			T _{VII}	T _I	ΔT _{I-XII}	ΣT _{V-IX}	за год	за V-IX м-цы
				0 10	0 -10 -20 -30 -40	0 -10 -20	400 500 600 700 800 900	0 200 400	0 100 200 300
Larix gmelinii s.l.	II ₄	1953-2003	SI ₁ 1						
Larix gmelinii s.l.	II ₃	500 ± 60 1400-1470 гг.до н.э.	0.95						
Larix gmelinii	II ₂	3660 ± 60 2135-2079 гг.до н.э.	1.1						
Larix gmelinii	II ₁	5720 ± 60 4669-4463 гг.до н.э.	0.90						
Duschekia fruticosa	I ₄	7040 ± 60 5985-5841 гг.до н.э.	SI ₂ 0.83						
Duschekia fruticosa	I ₃	7530 ± 70 6443-6261 гг.до н.э.	0.52						
Duschekia fruticosa, Betula exilis	I ₂	8150 ± 60 7315-7065 гг.до н.э.	0.80						
Betula exilis, Duschekia fruticosa	I ₁	10500 ± 140 10650-10275 гг.до н.э.	1.55						

Рисунок 2.9 – Графики, иллюстрирующие характер тепло- и влагообеспеченности в бассейне реки Фомич в течение последних 10 500 лет

Заключение

Новые данные, полученные при сопряженном изучении растительного покрова и поверхностных проб, взятых в типичных тундрах Таймыра, свидетельствуют о несомненной связи состава растений, определенных в поверхностных пробах, с составом растительного покрова изучаемой территории.

Анализируя состав растений-доминантов и содоминантов в местах взятия поверхностных проб и состав пыльцы, спор растений-доминантов и содоминантов в составе СПС фоссильных исследованных проб, мы пришли к следующим выводам.

1. Индексы сходства могут быть получены только в том случае, если отбор фоссильных проб, современных поверхностных проб и изучение состава современного растительного покрова района исследований проведены сопряженно или если современная растительность района исследований изучена достаточно хорошо.

2. Индексы сходства позволяют оценивать таксономический состав ископаемых спорово-пыльцевых спектров в сравнении с таксономическим составом спорово-пыльцевых спектров современных поверхностных проб – моделей, отражающих характер современного растительного покрова того или другого района исследований.

3. Таксономический состав пыльцы, спор растений-доминантов и содоминантов вполне адекватно отражает таксономический состав растений-доминантов и содоминантов ассоциаций в местах взятия поверхностных проб.

4. Содержание пыльцы и спор растений в составе СПС, выраженное в процентах, отражает не вполне адекватно роль тех или других растений в современном растительном покрове в местах взятия поверхностных проб. В составе СПС одних проб установлена прямая связь «растение – количество продуцируемой пыльцы, выраженное в процентах», в других такой связи не наблюдается.

5. Индексы сходства позволяют производить корреляцию ископаемых спорово-пыльцевых спектров растительного покрова прошлого на уровне зон и на фитоценоотическом уровне.

6. Графики индексов сходства дают, по нашему мнению, больше информации, чем традиционные спорово-пыльцевые диаграммы; графики более наглядны и компактны, что позволяет производить корреляции палеобиологических явлений и событий во времени с большей уверенностью и, следовательно, производить корреляцию одновозрастных толщ отложений с большей надежностью. Тем не менее необходимо строить как спорово-пыльцевые диаграммы, так и графики индексов сходства, с тем чтобы получить более надежную палеогеографическую и геологическую информацию.

7. Метод индексов сходства может быть использован при анализе фораминифер, диатомовом анализе и при исследованиях других групп организмов органического происхождения, а также при реконструкциях изменений климата в прошлом.

8. Что касается реконструкций климатов прошлого и моделирования прогнозов климатических изменений в будущем, то использование метода индексов сходства может внести реальный вклад в решение этой одной из наиболее важных проблем современности. Полагаем, что этот метод наиболее радикален на современном уровне знаний, и он должен привлечь внимание не только климатологов, но всех исследователей, работающих в области наук о Земле.

2.3 Новый метод реконструкции климатов прошлого

Проблема прогноза изменений климата в будущем – ближайшем и более отдаленном – одна из важнейших проблем современности. Над этой проблемой работают многие международные научные коллективы и межправительственные комиссии разных стран, изучая современный климат и климаты прошлого Земли, что в конечном счете направлено на прогноз климатических изменений в будущем – наводнений, засух, землетрясений, цунами и т.д. Эта проблема напрямую связана с проблемой реконструкций климата в прошлом, так как дать надежный прогноз любого явления или события можно лишь в том случае, если иметь представ-

ление о том, как развивались те или другие явления или события в прошлом и каково их современное состояние. Одной из главных задач географической науки является разработка прогнозирования изменений природных условий, их показателей.

Для реконструкции климатов прошлого широко используются данные спорово-пыльцевого метода исследований. Принято, что состав СПС современных поверхностных проб формируется в течение 50-ти лет и отражает состав растительности зонального и (или) локального уровней того или другого района. *Доминирующая растительность любого из районов Земли является отражением факторов природной среды, среди которых климату принадлежит решающая роль.*

Идея климата как ведущего фактора природной среды, обуславливающего распределение растительности на Земле, является старейшей идеей, которая принимается во многих трудах по современной фитогеографии (Келлер, 1938; Вальтер, 1974, 1975; Tukhanen, 1980; Савина, Хотинский, 1982; Сочава, 1980; Украинцева, 1992; Украинцева, Поспелов, 2012 а, б; Украинцева, Украинцев, 2017 и многие другие работы). Эта идея принята нами при разработке принципиально нового метода реконструкции климатов прошлого на основании данных метода спорово-пыльцевого анализа.

Из представленного ключевого определения спорово-пыльцевого спектра вытекает связь между составом ископаемых СПС и составом СПС современных поверхностных проб. Эта связь объективно выражается, как показано выше, через индексы сходства (параграф 2.2).

Согласно А.А. Борисову (1975), *под изменениями климата следует понимать смену одного типа климата другим; изменения внутритиповые есть колебания климата. При этом под климатом как компонентом географической среды понимается многолетнее состояние атмосферы, включая режим погоды, сложившееся в непрерывном процессе взаимодействия ее со всеми географическими факторами, а также обусловленное деятельностью человека.*

В настоящее время для реконструкции климатов прошлого на основании данных метода спорово-пыльцевого анализа ис-

пользуются: палеофлористический метод Иверсена-Гричука (Гричук, 1969), зональный метод (Савина, Хотинский, 1982; Украинцева, 1992, 2002; Ukraintseva, 2013; Украинцева, Поспелов, 2012 а, б), ряд математических методов.

Разработанный нами новый метод реконструкции климатов прошлого также базируется на зональном принципе. В его основе лежит использование индексов сходства, которые рассчитываются для таксонов растений зонального уровня (общий состав спорово-пыльцевых спектров), растений-доминантов и содоминантов в составе спорово-пыльцевых спектров отложений любого генезиса и возраста. Именно здесь следует еще раз подчеркнуть, что понятие «общий состав» спорово-пыльцевых спектров, введенное в практику спорово-пыльцевого анализа В.П. Гричуком и Е.Д. Заклинской (1948), – понятие интегральное. Это фундаментальное понятие биогеографического уровня, которое имеет важнейшее значение при реконструкции зональных типов растительности и ландшафтов, их эволюции во времени-пространстве и, несомненно, при реконструкции климатов прошлого. Именно общий состав спорово-пыльцевых спектров, как рецентных, так и ископаемых, отражает зональную структуру растительных ассоциаций. Однако в работах коллег за рубежом это понятие практически не используется. К сожалению, эта тенденция стала проявляться и в нашей стране, в особенности в связи с применением программы Tilia-Graph при построении спорово-пыльцевых диаграмм. При таком подходе, образно говоря, вместе с водой из ванны выплескивают и ребенка – общий состав – ценнейший инструмент при палеобиогеографических реконструкциях, стратиграфических построениях и корреляциях природных явлений и событий. Именно общий состав спорово-пыльцевых спектров является источником информации о сообществах растительного покрова зонального уровня, а, следовательно, и климата.

Климат развивается длительно и устойчиво, поэтому основные закономерности, установленные для современного климата, могут быть использованы для прогнозных построений.

Методика реконструкции климатов прошлого с использованием индексов сходства разработана на результатах изучения конкретного геологического разреза, что принципиально очень

важно. Это верховой торфяник мощностью 2,62 м на левом берегу реки Фомич, юго-восточная часть полуострова Таймыр (71°42' с.ш., 108°03' в.д.). Этот торфяник формировался, как отмечено выше, в течение всего голоцена. Формирование его прекратилось 500±60 лет ВР (1400–1470 гг.), когда он был перекрыт слоем песка. Результаты исследований этого уникального верхового торфяника представлены в параграфе 2.2.

Здесь уместно подчеркнуть тот факт, что огромная территория полуострова Таймыр исследована достаточно хорошо в геологическом, геоморфологическом и палеонтологическом отношениях (Антропоген Таймыра, 1982).

В течение многих лет В.В. Украинцевой с коллегами были проведены комплексные исследования отложений голоцена и позднеплейстоценовых отложений в окрестностях озера Кокора, в бассейне реки Новая, в устье реки Большая Балахня, на Юго-востоке Таймыра в бассейнах рек Фомич и Медвежья (Украинцева, 2002).

Методика

При реконструкции климатов прошлого на основании данных метода спорово-пыльцевого анализа следует использовать следующие приемы.

1. Общий состав ископаемых СПС и общий состав СПС поверхностных проб следует подразделить на четыре группы, соответствующие четырем группам жизненных форм растений:

- 1) пыльца деревьев;
- 2) пыльца кустарников и кустарничков;
- 3) пыльца трав и мелких кустарничков (Cassiope, Dryas, Vaccinium, другие кустарнички);
- 4) споры споровых растений.

2. Выявить доминанты и содоминанты в составе ископаемых СПС и в составе СПС поверхностных проб.

3. Рассчитать индексы сходства для вышеназванных таксонов общего состава, доминантов и содоминантов по формуле (2.1): $\frac{X}{Y} = SI$.

4. Методом ареалогамм выявить район совместного произрастания растений-доминантов и содоминантов, определенных в составе фоссильных СПС. Этот район является районом – аналогом для фоссильных таксонов растений в составе СПС зонального и фитоценотического уровней. Данные метеостанции, расположенной в районе-аналоге, или данные метеостанций, ближайших к району исследований, полученные путем интерполяции, правомерно использовать для реконструкции элементов климата района исследований.

5. При реконструкции целесообразно использовать следующие элементы климата: средняя температура июля (или августа для арктических и горных районов), средняя температура января, среднегодовая температура, сумма температур выше нуля градусов Цельсия; сумма осадков за год; сумма осадков за период с температурами выше нуля градусов Цельсия, выраженная в процентах от суммы осадков за год. Сумму температур за весь период со средней суточной температурой выше нуля градусов Цельсия получаем путем сложения с нарастающим итогом сумм температур за отдельные полные и неполные месяцы, входящие в этот период (Справочник по климату..., 1966). Сумма температур является интегральной характеристикой температурного режима, которая отражает ресурсы тепла, обусловленные радиационным балансом любой территории.

6. Реконструкция элементов климата, названных выше, производится по следующей формуле (2.2):

$$r_n = R_n \times SI_n, \quad (2.2)$$

где r_n – любой из перечисленных выше элементов климата, реконструируемых для района исследований;

R_n – любой из перечисленных выше элементов современного климата района-аналога;

SI_n – индексы сходства зонального уровня, которые рассчитываются для элементов общего состава.

Вышеперечисленные элементы климата и индексы сходства, которые используются при реконструкции, обозначены для удобства их применения при расчетах следующим образом:

R_1 – средняя температура июля, °С;

R_2 – средняя температура января, °С;

R_3 – среднегодовая температура, °С;

R_4 – сумма температур воздуха выше 0°С;

R_5 – сумма осадков за год, мм;

R_6 – сумма осадков за период с температурами выше нуля градусов Цельсия, выраженная в процентах от суммы осадков за год;

SI_1 – индекс сходства для группы пыльцы деревьев;

SI_2 – то же для группы пыльцы кустарников и кустарничков;

r_{1-6} – реконструируемые соответственно вышеперечисленные элементы климата.

В нашем конкретном случае формула (2.2) принимает следующий вид:

$$r_{1-6} = R_{1-6} \times SI_1 \text{ или } SI_2. \quad (2.3)$$

Естественно, что в каждом конкретном случае число элементов климата при проведении реконструкций может варьироваться, что зависит от конкретных задач, стоящих перед исследователями.

Введя в формулу (2.3) перечисленные выше элементы климата района-аналога ($R_1 - R_6$) и индексы сходства (SI_1, SI_2), получаем соответствующие реконструированные элементы климата – $r_1 - r_6$.

Конкретный пример расчета

Реконструируем среднюю температуру июля (r_1) и сумму осадков за год (r_5) по SI_1 :

$$r_1 = R_1 \times SI_1$$

$$R_1 = 12,3^\circ; SI_1 = 1,1$$

$$r_1 = 12,3^\circ \times 1,1 = 13,5^\circ$$

$$r_5 = R_5 \times SI_1$$

$$R_5 = 837 \text{ мм}; SI_1 = 1,1$$

$$r_5 = 837 \text{ мм} \times 1,1 = 920,7 \text{ мм}$$

Проведенные реконструкции названных выше элементов климата показали, что при $SI > 0,5$ сразу получаем реконструируемые элементы климата; при $SI < 0$ или $= 0,5$ – получаем отклонения от современных значений любого из элементов климата; вычтя полученную величину отклонения из современного его

значения, получаем значение реконструированного элемента климата. Аналогичным способом можно рассчитать любой из элементов климата.

Для реконструкции вышеназванных элементов климата в бассейне реки Фомич нами использованы данные метеостанции поселка Хатанга, расположенной в 200 км от района наших исследований на северном пределе распространения редкостойных лесов, образованных лиственницей Гмелина *Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr. Это единственная лесообразующая порода лесотундровых редколесий и северо-таежных горных лесов в восточной части Таймыра; южнее, в среднем течении реки Котуй, к ней изредка примешивается ель. Самые северные в мире редколесья и даже редкостойные леса находятся в нижнем течении правого притока Хатанги – реки Лукунской под 72°35' северной широты. Настоящие северо-таежные леса начинаются по долине реки Котуй несколько южнее ее впадения в реку Хатанга; их «острова» встречаются также в долине реки Фомич; причем для них свойственно наличие комплекса характерных таежных видов сосудистых растений и мхов (Поспелова, Поспелов, 2007).

Результаты реконструкции перечисленных выше элементов климата для бассейна реки Фомич представлены в таблице 2.3 и на рисунке 2.9.

По количественным характеристикам элементов климата и их динамике на графиках отчетливо прослеживается два типа климата в бассейне реки Фомич – тундровый и лесной; эти два типа климата полностью соответствуют двум типам фитохрон, установленным нами ранее для этого региона (табл. 2.3).

При реконструкции элементов климата, которые характеризуют фитохрон лесного типа, в вышеприведенную формулу вводили индекс сходства SI_1 ; для фитохрона тундрового типа в формулу вводили индекс сходства SI_2 .

Таблица 2.3 – Показатели тепло- и влагообеспеченности бассейна реки Фомич (71°42' с.ш., 108°03' в.д.), север Анабарского нагорья в течение последних 10500±140 лет

Время	Фитохрон	Индекс схождения		Температура, °С				Осадки, мм		Тип климата
		SI ₁	SI ₂	июля	января	средняя	∑Т за	∑ за год	∑ за 5-9 мес. % от ∑ за год	
AD/ BP yrs										
		SI ₁	SI ₂			за год	5-9 мес.			
1953–2003 гг.	II ₄	1	1	12,3	-33,8	-13,4	837	348	203/58,0	Лесной
500 ± 60	II ₃	0,95	0,34	11,7(-0,6)	-32,1(-1,7)	-12,7(-0,7)	795(-42)	312(-36)	193/62,0	Лесной
3660 ± 60	II ₂	1,1	1,31	13,5(+1,2)	-37,2(+3,4)	-14,7(+1,3)	921(+84)	383(+35)	223/58,0	Лесной
5720 ± 60	II ₁	0,90	0,90	11,1(-1,2)	-30,4(-3,4)	-12(-1,4)	753(-84)	313(-35)	183/58,0	Лесной
7040 ± 60	I ₄	0,28	0,83	10,2(-2,1)	10,2(-2,1)	-11,2(-2,2)	695(-142)	289(-59)	168/58,3	Тундровый
7530 ± 70	I ₃	0,29	0,52	6,4(-5,9)	-17,6(-16,2)	-7,1(-6,4)	435(-402)	181(-167)	106/58,6	Тундровый
8150 ± 60	I ₂	0,45	0,80	9,8(-2,5)	-27(-6,8)	-10,7(-2,7)	670(-167)	278(-70)	162/58,0	Тундровый
10 500 ± 140	I ₂	0,32	0,80	9,8(-2,5)	-27(-6,8)	-10,7(-2,7)	670(-167)	278(-70)	162/58,0	Тундровый
	I ₁	0,26	1,41	19	-52,4	-20(-6,6)	1266(+329)	539(-191)	336/62,0	
SI ₁ – для группы пыльцы деревьев										
SI ₂ – для группы пыльцы кустарников и кустарничков										

Тундровый тип климата приходится на интервал времени 10500±140 лет ВР (10650–10275 гг. до н.э.) – 7040±60 лет ВР (5985–5841 гг. до н.э.). Этот тип климата доминировал в этом регионе в течение более 3500 лет. Для него характерны менее теплые, чем в XX столетии нашего времени, летние сезоны: T_{VII} составляла 9,8–10,2°C (12,3°C) (здесь и далее в скобках даны элементы современного климата); суммы температур за период выше нуля °C (далее ΣT_{VI-IX}) составляли 670–695°C (837°C). Зимние сезоны были более теплые, чем в XX столетии: T_I составляла -27–28°C (-33,8°C); среднегодовые температуры воздуха были более высокими: -10,7–11,2°C (-13,4°C); количество осадков за год было меньше, чем XX столетии, причем 58% осадков выпадало в течение безморозного периода. Данные таблицы 2.3 наглядно иллюстрируют приведенные выше количественные характеристики климата.

Тундровый тип климата сменился здесь лесным типом климата между 7040–5720 гг. ВР. Эта кардинальная перестройка климата отражена в изменении растительного покрова. Тундры южного типа с участием ольховника *Duschekia fruticosa* – мощного эдификатора современных южных тундр, господствовавшие в этом регионе почти 3500 лет (фитохрон I₁₋₄), сменяются лесами, образованными лиственницей Гмелина (фитохрон II₁₋₄).

Лесной тип климата приходится на интервал времени 5720±60 лет ВР (4669–4463 гг. до н.э.) – 500±60 лет ВР (1400–1470 гг. н.э.) – современность. Тепло- и влагообеспеченность в этот временной интервал возрастают (табл. 2.3). Летние сезоны становятся более теплыми, чем летние сезоны 7040±60 лет ВР и летние сезоны XX столетия: T_{VII-IX} повышается до 11,1–11,7°C, максимально до 13,5°C; сумма положительных температур за безморозный период также повышается до 595–753°C, максимально до 921°C. Однако зимние сезоны стали более холодными, чем зимние сезоны в интервале времени 10500±140 лет ВР (10650–10275 гг. до н.э.) – 7040±60 лет ВР (5985–5841 гг. до н.э.); T_I составляют -30,4–37,2°C; среднегодовые температуры понизились до -12,0–12,7°C, максимально до -14,7°C; количество осадков за год возрастает до 313–383 мм, причем большая их часть (58–62%) приходится на безморозный период.

Представленные характеристики двух типов климата свидетельствуют о том, что в первую половину голоцена (10500–7040 лет ВР) климат в этом регионе был достаточно устойчив (табл. 2.3). Лишь 7530±70 лет ВР произошло резкое похолодание: средние температуры воздуха в июле снизились до +6,4°C (+12,3°C); ΣT_{VI-IX} снижается до 435°C (837°C); однако зимние температуры были значительно выше, чем в XX столетии: T_I достигала -17,6°C (-33,8°C); повышалась и среднегодовая температура до -7,0°C (-13,4°C). Но уже 7040±60 лет ВР, т.е. через 490 лет, климатический режим, который был здесь до этого похолодания, практически восстанавливается. Причем летние сезоны в течение первой половины голоцена были менее теплые, чем летние сезоны XX столетия; зимние сезоны были более теплые, чем зимние сезоны XX столетия. Отклонения по всем реконструированным элементам – отрицательные в сравнении с элементами климата XX столетия.

Климат второй половины голоцена, начиная с 5720±60 лет ВР и вплоть до современности, характеризуется попеременными колебаниями (табл. 2.3).

По основным элементам климата, реконструированным нами для последних 10500±140 лет ВР, выявлены следующие очень важные закономерности.

1. Более теплые, чем в XX столетии, зимние сезоны прослежены в этом регионе в первую половину голоцена – с 10500±140 лет ВР. Отклонения по всем реконструированным элементам климата в этот длительный период времени – отрицательные (табл. 2.3).

2. Во вторую половину голоцена, начиная с 5720±60 лет ВР, климатическая ситуация меняется: климат становится, с одной стороны, более теплым в сравнении с первой половиной голоцена, а с другой стороны, менее устойчивым. В климатический оптимум, который приходился в этом регионе на суббореальный период голоцена – 3660±60 лет ВР – ситуация изменилась в корне: летние сезоны стали более теплыми относительно летних сезонов XX столетия: T_{VII} достигала 13,5°C (12,3°C); сумма положительных температур за (VI) VII–IX месяцы также возрастает до 921°C (837°C); количество осадков за год возросло до 383 мм

(348 мм); зимние сезоны стали более холодными в сравнении с зимними сезонами XX столетия: T_1 достигали $-37,2^{\circ}\text{C}$ ($-33,8^{\circ}\text{C}$); среднегодовые температуры были более низкими в сравнении с XX столетием: $-14,7^{\circ}\text{C}$ ($-13,4^{\circ}\text{C}$). Отклонения по всем реконструированным элемента климата в это время – положительные.

3. Более холодным, чем в XX столетии, летним сезонам сопутствовали более теплые зимы; более теплым, чем в XX столетии, летним сезонам сопутствовали более холодные зимы (табл. 2.3). Установленная связь представляет собой как бы «два крыла» единого природного процесса. Эти своеобразные «крылья» были достаточно устойчивы в первую половину голоцена – 10500±140 лет ВР – 7040±60 лет ВР. Во вторую половину голоцена, начиная с 5720±60 лет ВР, устойчивость «крыльев» природного процесса колеблется, что отражает колебания климата в интервале времени 5720±60 лет ВР – 500±60 лет ВР (1400–1470 гг. н.э.) – современность (табл. 2.3).

В период инструментальных наблюдений климатическая система Арктики в целом иллюстрирует резко выраженную вариабельность годовых, десятилетних и многолетних масштабов. Важным, но не единственным источником этой вариабельности является Северная Атлантическая Осцилляция (The North Atlantic Oscillation, NAO), которая представляет собой взаимное усиление и ослабление Азорского максимума и Исландского минимума давления (Serreze and Barry, 2005: 291–292). В последнее время значительное внимание уделяется Арктической Осцилляции (The Arctic Oscillation, AO), которая представляет собой вариабельность месячного давления севернее 20°C северной широты. Арктическая осцилляция имеет центр действия преимущественно в Арктике, концентрируясь у Исландского минимума и в противоположных центрах действия в бассейнах Атлантики и Пацифики. Эта осцилляция может быть интерпретирована как осцилляция атмосферных масс между Арктикой и средними широтами, ассоциируясь с усилением или ослаблением полярных вихрей. Обе эти осцилляции (NAO и AO) существуют круглый год. Однако в зимние сезоны они выражены лучше, оказывая очень сходное воздействие на климат Арктики. Высказываются мнения, что вариабельность атмосферной циркуляции, связанная с NAO/AO,

оказывает влияние на приземные температуры воздуха и осадки не только строго вдоль атлантической стороны Исландского минимума, но распространяется вдоль больших территорий в северных высоких широтах.

Представленные данные, полученные нами впервые, о связи холодных и теплых сезонов и о динамике холодных и теплых ритмов в бассейне реки Фомич в течение 10500 лет \pm 140 лет ВР (табл. 2.3), мы рассматриваем как сигналы из далекого прошлого о проявлении АО/NAO в этом высокоширотном регионе Арктики.

Механизмы и центры действия АО/NAO детально описаны для северного полушария Земли (Serreze and Barry, 2005). Это дало возможность впервые распознать проявление действий этих атмосферных явлений над территорией полуострова Таймыр в течение всего голоцена и проследить их влияние на формирование климата, а, следовательно, и на формирование растительного покрова в этом высокоширотном регионе Арктики.

Заключение

1. Представленные в этой главе данные позволили впервые составить объективное представление о характере тепло- и влагообеспеченности бассейна реки Фомич, юго-восток полуострова Таймыр (71°42' с.ш., 108°03' в.д.) для всего голоцена.

2. Реконструкции климатов прошлого с использованием индексов сходства показали, что полученные этим новым методом характеристики климатов прошлого более объективны и надежны для прогностических построений.

3. При оценке изменений климата в прошлом с использованием индексов сходства напрашивается вывод о «переоценке ценностей» – значений летних и зимних температур как показателей климатов в прошлом в сравнении с современным климатом. Необычно теплая зима 2017–2018 широко обсуждается в центрах разных стран по изучению климата – ВМО, НАТО, ГИДРОМЕТЕОЦЕНТР РФ, в других организациях, и вызывает интерес и удивление общественности. Однако данные, полученные ранее по Таймыру (Ловелиус, 2001), и наши новые данные (табл. 2.3, глава 3) являются веским доказательством существо-

вания такого рода природных явлений в прошлом. В этом отношении есть о чем глубоко подумать и основательно поработать климатологам, экологам и другим специалистам.

4. Благодаря использованию нового метода реконструкции климатов прошлого с использованием индексов сходства впервые представилась возможность выявить действия атмосферных процессов, в частности проявлений NAO/АО, над территорией полуострова Таймыр в голоцене.

5. Представленный новый метод реконструкции климатов прошлого целесообразно использовать для территории любого района и региона при изучении отложений любого генезиса и возраста методом спорово-пыльцевого анализа и другими методами – методом диатомового анализа, методом анализа фораминифер, других организмов органического происхождения.

ГЛАВА 3 ЕСТЕСТВЕННЫЕ КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ: РОЛЬ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ

3.1 Климат Земли в прошлом и прогнозы: интегральный подход

Итак, изучив верховой торфяник из бассейна реки Фомич, мы впервые получили непрерывную информацию о естественной эволюции растительного покрова и климата в юго-восточной части полуострова Таймыр в течение более чем 10 500 лет. Другого подобного торфяника на территории полуострова Таймыр пока неизвестно; этот факт отмечается, кстати, многими исследователями.

Приведенные выше данные иллюстрируют долгопериодные (5000 лет), среднепериодные (2400 лет) и короткопериодные (490 лет) изменения климата, которые характеризуются потеплениями и похолоданиями. В течение XX столетия многолетние зональные температуры воздуха свидетельствуют повсюду об их повышении около 1°C, но с большой вариабельностью:

- 1) общее потепление с 1900 по 1940 гг.; это потепление лучше всего проявлялось с 1920 по 1940 гг.;
- 2) общее похолодание – с 1940 по 1970 гг.;
- 3) общее потепление с 1970 г., которое все еще продолжается. Однако по данным Н.В. Ловелиуса (2001), в последние годы 20-го столетия отмечена тенденция к снижению прироста ширины годовых колец у лиственницы Гмелина *Larix gmelinii* на крайнем пределе ее распространения на Таймыре в урочище Ары-Мас. Чрезвычайно важным является продление серии этих годовых колец до 1996 года, подтвердившее тенденцию снижения ширины их прироста за последние 26 лет: 1960–1969 гг. (**0,518 мм**); 1970–1979 гг. (**413 мм**); 1980–1989 гг. (**0,456 мм**); 1990–1996 гг. (**0,376 мм**).

По мнению Н.В. Ловелиуса, это может указывать на ухудшение условий роста и развития этой древесной породы и, следо-

вательно, на похолодание. «Однако сколь долго продлится это похолодание, сказать пока трудно; но если судить об устойчивости направленных колебаний в прошлом, то это внутривековое колебание может быть достаточно продолжительным» (Ловелиус, 2001: 94).

Полагаем, установленные явления потепления современных зим на полуострове Таймыр (Ловелиус, 2001 а; Украинцева, 2008; Украинцева, Поспелов, 2012а, б; Украинцева, Украинцев, 2017), в ряде других высокоширотных районов Арктики (Serreze and Barry, 2005) как раз и могут быть доказательствами похолоданий летних сезонов, что было характерно для первой половины голоцена.

Представленные элементы климата, реконструированные для юго-восточной части полуострова Таймыр, отчетливо коррелируются с динамикой пятен на Солнце, реконструированных для последних 11 тысяч лет для средних широт Северного полушария (Solanki et al., 2004). Это подтверждает глобальный характер изменения климата на Земле под воздействием Солнца в течение голоцена.

Таким образом, у нас есть все основания использовать данные, полученные нами по голоцену Таймыра, как аналог и инструмент для прогноза климата как для этого региона, так и для других высокоширотных регионов Арктики. Однако мы считаем, что в связи с изложенными выше фактами строить прогноз изменения климата на будущее целесообразно по двум сценариям: для похолодания и для потепления, чтобы быть готовыми к тем и другим событиям.

Для прогнозных построений в районе наших исследований есть два исторически достоверных, установленных нами для этого региона аналога: похолодание в так называемый Малый ледниковый период 500 ± 60 лет ВР (1400–1470 гг.) и потепление в суббореальный период голоцена 3660 ± 60 лет ВР. Прогноз для наглядности представлен в таблице 3.1.

Таблица 3.1 – Прогноз изменений основных элементов климата для территории п-ова Таймыр на фоне изменений климата в этом регионе в прошлом

Время	Фито-хрон	Индекс сходства		Температура, °С				Осадки, мм	
				июля	января	средняя	∑Т за	∑ за год	∑ за 5-9 мес. % от ∑ за год
AD/ BP yrs									
		SI ₁	SI ₂			за год	5-9 мес.		
ПРОГНОЗ									
Потепление				13,5(+1,2)	-37,2(+3,4)	-14,7(+1,3)	921(+84)	383(+35)	223/58,0
Похолодание				11,7(-0,6)	-32,1(-1,7)	-12,7(-0,7)	795(-42)	312(-36)	193/62,0
1953-2003 гг.	II₄	1	1	12,3	-33,8	-13,4	837	348	203/58,0
500±60	II ₃	0,95	0,34	11,7(-0,6)	-32,1(-1,7)	-12,7(-0,7)	795(-42)	312(-36)	193/62,0
3660±60	II₂	1,1	1,31	13,5(+1,2)	-37,2(+3,4)	-14,7(+1,3)	921(+84)	383(+35)	223/58,0
5720±60	II ₁	0,90	0,90	11,1(-1,2)	-30,4(-3,4)	-12(-1,4)	753(-84)	313(-35)	183/58,0
7040±60	I ₄	0,28	0,83	10,2(-2,1)	10,2(-2,1)	-11,2(-2,2)	695(-142)	289(-59)	168/58,3
7530±70	I ₃	0,29	0,52	6,4(-5,9)	-17,6(-16,2)	-7,1(-6,4)	435(-402)	181(-167)	106/58,6
8150±60	I ₂	0,45	0,80	9,8(-2,5)	-27(-6,8)	-10,7(-2,7)	670(-167)	278(-70)	162/58,0
10500±140	I ₂	0,32	0,80	9,8(-2,5)	-27(-6,8)	-10,7(-2,7)	670(-167)	278(-70)	162/58,0
	I ₁	0,26	1,41	19	-52,4	-20(-6,6)	1266(+329)	539(-191)	336/62,0
SI ₁ – для группы пыльцы деревьев									
SI ₂ – для группы пыльцы кустарников и кустарничков									

В случае похолодания климата летние сезоны в этом регионе будут холоднее, чем летние сезоны XX столетия: средняя температура июля будет ниже на 0,6°С, чем в XX столетии (12,3°С); сумма температур за VII –IX месяцы будет также на 42°С ниже (837°С); однако зимние сезоны будут более теплыми: средняя температура января будет выше средней многолетней температуры XX столетия на 1,7°С; среднегодовая температура будет также выше на 0,7°С в сравнении со среднегодовой температурой XX столетия; осадков в среднем будет выпадать на 36 мм меньше, чем в XX столетии (312 мм), но 62% из них (193 мм) будет приходиться на летние сезоны (табл. 3.1). В связи с этим возникнет опасность наводнений. Именно здесь следует отметить тот факт, что исследованиями, проведенными в системе рек Медвежья и Котуй, впервые был установлен факт палеонаводнений для юго-восточной части полуострова Таймыр. Начиная со

второй половины суббореального периода голоцена, а именно с 3900±60 лет ВР, наводнения в этом регионе происходят постоянно. Судя по современной гидрологической ситуации рек, уровень подъема вод во время половодий достигал порядка 4 метров и выше в реке пра-Котуй и порядка 1,5 метра в реке пра-Медвежья (Украинцева, Поспелов, 2000; Ukraintseva, Pospelov, 2000).

В случае потепления климата летние сезоны в этом регионе будут более теплыми, чем летние сезоны XX столетия: средняя температура июля будет на 1,2°C выше, чем в XX столетии (12,3°C) и составит порядка 13,5°C; сумма температур за VII–IX месяцы будет на 84°C выше, чем в XX столетии, и будет достигать порядка 920°C. Однако зимние сезоны будут более холодными, чем в XX столетии: средние январские температуры будут на 3,4°C ниже средних январских температур XX столетия; среднегодовые температуры XX столетия будут ниже на 1,3°C. Отклонения по всем климатическим элементам – положительные.

Представленные два сценария изменения климата в будущем можно с уверенностью рассматривать для всего Таймыра, так как данные метеостанции поселка Хатанга, которые использованы нами для палеоклиматических реконструкций, и данные метеостанции города Дудинка довольно близки (Ловелиус, 2001) и характеризуют климатические условия полуострова Таймыр в целом.

Возникает естественный, очень важный вопрос: можно ли использовать данные представленного выше регионального прогноза для прогноза изменения климата в будущем в глобальном масштабе? Да, естественно, можно и нужно, так как этот региональный прогноз основан на данных естественного изменения климата в течение последних 10 500 лет, которые были обусловлены, как будет показано ниже, глобальными изменениями климата в этот длительный интервал времени.

Семь радиоуглеродных дат, полученных по пробам торфа, взятым из торфяника в бассейне реки Фомич (Ukraintseva, Pospelov, 2000), были нанесены нами на график солнечных пятен (рис. 3.1), реконструированных по содержанию радиоактивного углерода в кольцах деревьев, которые произрастали в средних широтах северного полушария Земли в течение последних 11 тысяч лет (Solanki et al., 2004).

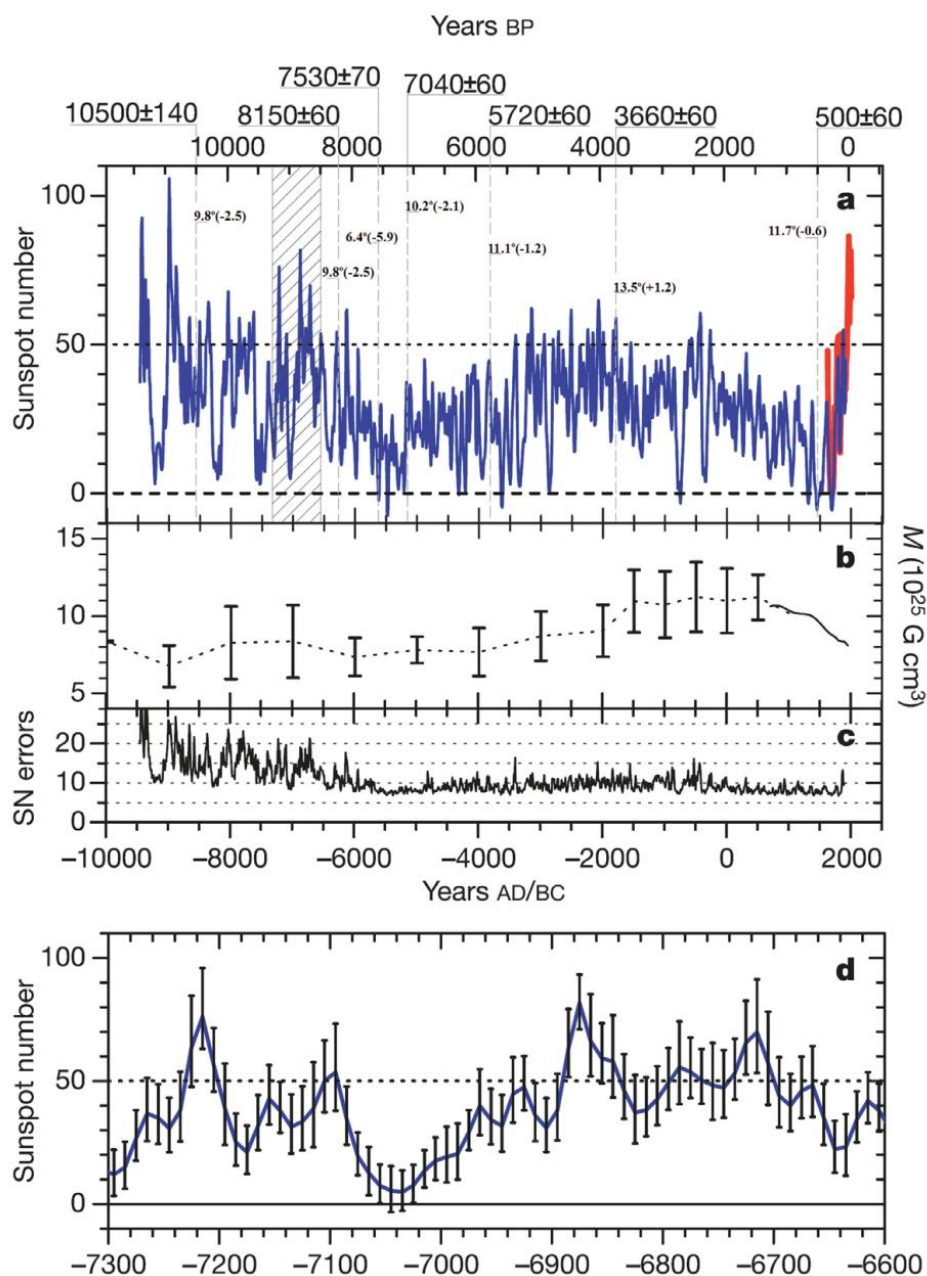


Рисунок 3.1 – Динамика солнечных пятен, реконструированная по кольцам деревьев для средних широт Северного полушария Земли для последних 10 тысяч лет (Solanki et al., 2004), и радиоуглеродные даты и среднеиюльские температуры воздуха, реконструированные нами, верхняя панель графика¹

График рисунка 3.1 иллюстрирует активность Солнца в этот период, эпизоды высокой активности Солнца (заштрихованная часть рисунка) и сильно пониженной его активности; горизон-

¹ Ukraintseva, Pospelov, 2000.

тальная пунктирная линия маркирует порог, выше которого Солнце должно было быть, по мнению авторов, исключительно активным (Solanki et al., 2004).

Две радиоуглеродные даты, полученные нами, – 10500 ± 140 лет ВР и 8150 ± 60 лет ВР – приходятся на эпизоды повышенной активности Солнца: число пятен на Солнце было выше 50-ти; еще две даты – 7530 ± 70 лет ВР и 7040 ± 60 лет ВР – приходятся на эпизоды сильно пониженной активности Солнца – великий минимум, *grand minima*. Дата 5720 ± 60 лет ВР приходится на интервал повышенной солнечной активности; однако уровень ее не достигал порога, выше которого она должна была бы быть исключительно высокой. Дата 3660 ± 60 лет ВР приходится на эпизод порога выше солнечной активности. Дата 500 ± 60 лет ВР приходится на эпизод очень низкой активности Солнца, что соответствует Малому ледниковому периоду (1400–1470 гг. AD).

Среднеиюльские температуры воздуха, реконструированные нами с использованием индексов сходства и нанесенные на график Solanki et al. (рис. 3.1), впервые позволили составить наглядное объективное представление об их динамике в этом высокоширотном регионе Арктики в течение всего голоцена и об их отклонениях от среднеиюльских температур XX столетия нашего времени. *Следовательно, данные Solanki et al. (2004), полученные нами радиоуглеродные даты и реконструированные нами среднеиюльские температуры воздуха, представленные на фоне динамика солнечных пятен, реконструированных по содержанию радиоактивного углерода в кольцах деревьев, свидетельствуют о синхронности биоклиматических ритмов на Земле с активностью Солнца в течение последних 11 000–10 500 лет. Таким образом, можно с полной уверенностью утверждать, что главным триггером и маркером изменений климата на Земле в этот длительный временной интервал была солнечная активность. «Солнечная активность – это совокупность всех процессов, происходящих на Солнце. Эта безграничная и беспредельная реальность описывается различными индексами, которые отражают различные стороны состояния активных зон Солнца» (Lockwood, 2013).*

Сформулировав единый закон солнечной активности Вольфа-Шперера-Хела-Оля, согласно которому солнечная активность есть

функция прерывная и знакопеременная между ее циклами, Купецкий провел кросс-корреляционный анализ «матрицы солнечного времени», с тем чтобы выявить, каким может быть фон солнечной активности в циклах XXI века в сравнении с XX веком. При этом каждый предшествующий год им сопоставлялся со всеми последующими годами как по горизонтали (по хронологическому ходу времени, внутри циклов), так и по вертикали (поперек хода времени, между циклами). В конечном итоге получилось, что максимумы солнечной активности 11-летних циклов XX века, выраженные в международных относительных числах Вольфа (W Max), имеют прямую связь с максимумами XVIII века. В свою очередь, максимумы XXI века, который начался с 20-го цикла в 1964 году, имеют обратную связь с максимумами XIX века. На основании анализа «матрицы солнечного времени» В.Н. Купецким были представлены будущие максимумы солнечной активности, выраженной в относительных числах Вольфа (табл. 3.2, верхняя левая панель таблицы). Реконструированные нами климатические данные (правая нижняя панель таблицы 3.2), сопоставленные с прогнозом В.Н. Купецкого, позволили дать прогноз климатических изменений в будущем для высокоширотных районов Арктики (табл. 3.2).

Таблица 3.2 – Прогноз изменений климата для территории п-ова Таймыр и сопредельных районов Арктики с учетом изменений солнечной активности

Купецкий, 1998		Украинцева, 2008					
Цикл	Год Мах Вт	Год (AD/ BP)	Элементы климата				
			T _{VII}	T _I	T за год	Осадки, мм (год)	SI
27	2048 100	2048	(-0,6)	(-1,7)	(-0,7)	(-36)	0,95
26	2036 130	2036	12,3	-33,8	-13,4	348	
25	2024 110	2024	(-0,6)	(-1,7)	(-0,7)	(-36)	0,95
24	2012 100	2012	(-0,6)	(-1,7)	(-0,7)	(-36)	0,95
23	2000 140	2000	12,3	-33,8	-13,4	348	1,0
	1400-1470 (500±60)		11,7 (-0,6)	-32,1 (-1,7)	-12,7 (-0,7)	312 (-36)	0,95
	3660±60		13,5 (+1,2)	-37,2 (+3,4)	-14,7 (+1,3)	385 (+35)	1,1
	5720±60		11,1 (-1,2)	-30,4 (-3,4)	-12,0 (-1,4)	313 (-36)	0,90
	7040±60		10,2 (-1,2)	-28,0 (-5,8)	-11,2 (-2,2)	289 (-69)	0,83
	7530±60		6,4 (-5,9)	-17,6 (-16,2)	-7,1 (-6,4)	181 (-167)	0,52
	8150±60		9,8 (-2,5)	-27,0 (-6,8)	-10,7 (-2,7)	278 (-70)	0,80
	10500±60		9,8 (-2,5)	-27,0 (-6,8)	-10,7 (-2,7)	278 (-70)	0,80

Представленные в таблице 3.2 данные – это фактически матрица, которая отражает реакцию ландшафтной оболочки Земли на изменчивость солнечной активности в прошлом, настоящем и будущем для $71^{\circ}42'$ с.ш., $108^{\circ}03'$ в.д. Следуя пониманию термина «матрица» В.Н. Купецким, мы называем таблицу 3.2 «Солнечно-климатической матрицей». «Если таблица может представлять собою простой, субъективный перечень каких-либо данных, то «матрица» содержит в себе более емкие сведения, поскольку она составляется по определенным объективным рецептам, правилам или алгоритмам» (Купецкий, 1988: 27). Из данных его прогноза В.Н. Купецкий сделал вывод о том, что на рубеже веков около и за 2000-м годом не следует ждать небывалого, катастрофического подъема солнечной активности, равно как и необычных катаклизмов в ландшафтной оболочке Земли.

Из прогноза В.Н. Купецкого вытекает еще один принципиально очень важный вывод: в предстоящие 50 лет колебания солнечной активности, а, следовательно, и климата на Земле будут продолжаться. В 23-м цикле, солнечная активность которого достаточно высока, потепление продолжалось. Это потепление сменят два цикла похолоданий (24-й, 25-й циклы), когда активность Солнца снизится до 100–110 единиц Вольфа; 26-й цикл будет более теплым, чем предыдущие два цикла, тогда как в 27-й цикл (около 2048 года) солнечная активность вновь понизится до 100 единиц (похолодание).

Здесь необходимо отметить, что в рамках Международного проекта Arctic Climate Impact Assessment (ACIA) (ACIA, 2005) впервые был представлен долгосрочный прогноз изменений некоторых показателей климата для высокоширотных районов Арктики: атмосферной циркуляции, приземных температур воздуха и осадков для последней части XXI века (2060–2089 гг.), в сравнении с периодом 1960–1990 годов. Прогноз этот подробно освещен (Serreze and Barry, 2005: 326-334). Согласно этому прогнозу в высокоширотных районах Арктики в конце XIX века ожидается достаточно сильное потепление. Не исключено, что прогнозируемое авторами потепление будет аналогично потеплению суббореального периода голоцена, которое, как нами установлено, прослежено 3660 ± 60 лет назад в юго-восточной части полуострова Таймыр в бассейне реки Фомич. Время покажет.

Прогнозируемые нами изменения основных элементов климата в высокоширотных районах Арктики представлены в виде отклонений от современных их значений (табл. 3.2). Мы полагаем, что такой прием позволяет дать реальный прогноз для любого конкретного района и региона на основании текущих метеорологических данных.

3.2 Исследования солнечной активности и прогнозы климатических изменений

Вплоть до конца XX века астрономы могли изучать лишь поверхность Солнца; заглянуть глубже не позволяли технические возможности. Но в 1995 г. NASA совместно с Европейским космическим агентством (ЕКА) отправили в космос обсерваторию SOHO. К этой обсерватории спустя 15 лет присоединилась еще одна – американская обсерватория SDO. Совместными усилиями удалось «просветить» звезду насквозь и получить базовые представления о внутреннем строении Солнца.

Начиная с 1995 года, исследования Солнца позволили гелиофизикам установить, что Солнце состоит из 11 слоев, включая гигантский термоядерный реактор в центре, который питает бушующую стихию на его поверхности. Выделяют следующие слои:

- ядро: здесь вырабатывается солнечная энергия. При температуре 15 млн градусов Цельсия протоны водорода соединяются по четыре, образуя ядро гелия;

- зона излучения: выработанная в ядре энергия переносится наружу в виде лучей – частиц света (фотонов);

- зона конвекции: пузыри горячего газа поднимаются на поверхность, по мере охлаждения вещество снова опускается в недра. Одновременно в глубине газовые потоки текут от экватора к полюсам, там они выходят на поверхность и устремляются обратно к экватору;

- фотосфера: слой, образующий видимую поверхность Солнца, состоит из хлопчатого газа, разогретого до 5500 градусов Цельсия;

– хромосфера: температура в среднем слое солнечной атмосферы – 10 000 градусов Цельсия. При затмении хромосферу можно наблюдать в виде красной каймы вокруг Солнца;

– солнечная корона: самый верхний слой атмосферы Солнца, раскаленный до нескольких миллионов градусов Цельсия. Механизм нагрева газа остается загадкой;

– пятна на Солнце: относительно «холодные» зоны фотосферы (с температурой около 3500 градусов Цельсия), которые кажутся темными на фоне более горячей материи;

– корональные дыры: темные участки в высоких широтах – места выхода невидимых магнитных линий в космос. Здесь зарождается быстрый солнечный ветер;

– протуберанцы: магнитные линии выгибаются над солнечной поверхностью, образуя гигантские арки, удерживающие газ. При их перегруппировке могут происходить «корональные выбросы массы» (КВМ) – извержения огромного количества материи в космос;

– дифференциальная ротация: у экватора в зоне конвенции солнечный шар вращается быстрее, у полюсов – медленнее, из-за чего линии магнитного поля спутываются и закручиваются;

– солнечные вспышки: переориентация магнитных полей может вызывать мощные взрывы, которые сопровождаются рентгеновским излучением и выбросом сверхбыстрых частиц.

Хотя секретов у Солнца осталось все еще много, но передовой край исследований Солнца – это компьютерное моделирование возникновения и изменения темных зон. А в перспективе у этих экспериментов более амбициозная и важная цель – выявить закономерности формирования солнечных циклов (Бахманн, 2017).

Галактические космические лучи, нагревая атмосферу Земли, генерируют радионуклиды путем расщепления (spallation) (Beer et al., 2012). Некоторые из этих космогенных изотопов накапливаются в наземных резервуарах, в частности в ледниковых покровах Земли в виде бериллия ^{10}Be (рис. 3.2) и радиоуглерода ^{14}C в стволах, ветвях, корнях деревьев, в составе которых они могут быть установлены и определены.



**Рисунок 3.2 – Большая стена ледника на острове
Большой Ляховский у Ванькиной заимки¹**

Так как приток космических лучей моделируется гелиосферными полями, то присутствие изотопов дает уникальную информацию о длительной их изменчивости. Следует подчеркнуть, что неоценимую информацию в этом отношении дают пыльца и споры тех растений, которые аккумулируются на поверхности Земли в отложениях болот, торфяников, в озерах, морях и океанах. Установлено, что аккумуляция пыльцы, спор растений в наземных поверхностных слоях достигает порядка нескольких тонн (Erdtman's Handbook, 1992).

Пыльца и споры, продуцируемые растениями в любом месте Земли, оседая на ее поверхность, формируют спорово-пыльцевые спектры, которые являются надежными индикаторами и мониторами окружающей среды. Следовательно, состав этих спектров отражает связь между растительностью и климатом.

Решить проблему прогноза изменений климата оказалось практически невозможным даже для таких опытных специалистов в области палеогеографических реконструкций, как Климанов (1994), Ямских (2006), Бляхарчук (2010) и др. В.А. Климанов,

¹ Фото А. Миддендорфф, 1860.

обобщая данные литературных источников по реконструкции климата Северной Евразии в голоцене, пишет о трендах изменений климата в этом обширном регионе.

Труды выдающегося географа и прогнозиста В.Н. Купецкого стали основой для решения проблемы климатических изменений в будущем. Купецкий работал в высоких широтах Арктики в течение более чем 30 лет в Восточном Арктическом Центре Морских Операций (г. Певек, п-ов Чукотка). Главной задачей его работы в этом суровом краю были прогнозы. Он строил прогнозы для практического судоходства в Арктике на тонком знании закономерностей активности Солнца, солнечно-земных связей, знании ледовых ландшафтов, их изменчивости в замерзающих морях Арктики.

Опираясь в своей работе на фундаментальные законы солнечной активности, а именно: закон Вольфа, закон Шперера, закон Хелла и закон Оля, В.Н. Купецкий сформулировал единый закон солнечной активности, согласно которому солнечная активность есть функция непрерывная и знакопеременная между циклами.

Закон Вольфа об 11-летней активности Солнца – главный, но не единственный закон для прогнозирования климатических изменений на Земле, считает В.Н. Купецкий.

По закону Шперера, пятна нового цикла появляются в высоких широтах Солнца, а затем в течение цикла перемещаются (сползают) к экватору. По этому закону солнечная активность есть функция монотонно убывающая и прерывная, дискретная.

По закону Хелла, на Солнце от цикла к циклу меняется полярность биполярных (двойных) групп пятен. Это означает, что солнечная активность от цикла к циклу меняет знак.

По закону Оля, два цикла – четный и нечетный – образуют физическое единство (Оль, 1968).

«Следовательно, солнечная активность оказывает на Землю воздействия, во-первых, циклические, во-вторых, прерывные и, в-третьих, знакопеременные от цикла к циклу» (Купецкий, 1997: 50).

Согласно В.Н. Купецкому (1997, 1998), названные выше четыре закона составляют единый закон солнечной активности Вольфа-Шперера-Хелла-Оля. Обосновать этот закон ему позво-

лили матрицы солнечного времени относительно максимумов солнечной активности.

Для того чтобы создать матрицу, пишет Купецкий, следует «разрезать» историческое время на солнечные циклы и совместить эти отрезки в столбик по годам максимумов или минимумов. Вверху, по горизонтали, слева направо необходимо отметить номера годов 11-летних циклов. Номера самих 11-летних циклов отметить слева по вертикали, в которых «первый» (нечетный) цикл начался в 1755 г., а «двадцатый» (четный) – в 1964 г. В каждой клетке следует указать год и после него международное Цюриховское число Вольфа (W) солнечных пятен в этом году. В результате получится «таблица наложенных эпох» или точнее «Матрица солнечного времени» (табл. 3.2).

Из матрицы солнечного времени следует «закон индивидуальности», означающий, что все циклы разные. Из имеющихся с 1700 года ряда телескопических наблюдений за Солнцем среди 29- и 11-летних циклом нет двух одинаковых; по длительности (продолжительности) они изменяются от 9 до 14 лет, а по высоте (по максимумам) – от 46 единиц W в 1816 г. до 190 единиц W в 1957 году. Тщательный анализ этой матрицы позволяет выявить шесть рядов солнечных циклов по их длительности, начиная с минус 40-го цикла (1700 г.) по 24-й цикл (2008–2019 гг.) (табл. 3.3).

Таблица 3.3 – Длительность 29 циклов солнечной активности, выраженная в относительных числах Вольфа (W)

Цикл	Количество циклов	%
9-летний	2	7,0
10-летний	7	24,1
11-летний	12	41,3
12-летний	5	17,1
13-летний	2	7,0
14-летний	1	3,5
<i>Итого – рядов циклов</i>	29	100

Установленные шесть рядов циклов солнечной активности формируют три следующие разряда:

первый разряд солнечный циклов объединяет 10-летние и 11-летние циклы; на долю этого разряда 19 циклов, что составляет

в сумме 65,4% от всех учтенных 29 циклов солнечной активности за последние 312 лет, начиная с минус 4-го (1700 г.) по 24-й цикл (2008–2019 гг.);

второй разряд включает только 12-летние циклы, 5 циклов (17,1%);

третий разряд объединяет два 9-летних цикла (7%), два 13-летних цикла (7%) и один 14-летний цикл (3,5%), что составляет в сумме 17,5% от всех учтенных 29 циклов.

Полагаем, установленные три разряда циклов должны учитываться при прогнозировании изменений климата для 10–11-летних циклов, тогда как для прогнозов более длительных климатических изменений будут иметь значение данные о 44-летних циклах с учетом индексов их сходства.

Матрица солнечного времени свидетельствует о том, что чередование циклов солнечной активности происходит не строго в ритмах 11 лет, а в ритмах, колеблющихся от 9 до 14 лет (табл. 3.2).

Согласно М. Локвуду (Lockwood et al., 2012), длительность солнечных циклом составляет 9,8–12,5 лет, а по данным NASA – 8,2–15 лет. Эти факты следует учитывать при прогнозировании климата на всех уровнях – локальном, региональном и глобальном.

Из матрицы солнечной активности вытекает еще один закон – закон соподчинения, удвоения или иерархии циклов. Этот закон упорядочивает кажущийся хаос 11-летних, 22-летних, 44-летних (полувековых), 88-летних (вековых), 176-летних (двухвековых) и т.д. циклов. Эта стройность выявляется в случае, когда, начиная от нулевого цикла, последующие циклы объединяются в пары, с приданием новому 22-летнему циклу четного номера по условной формуле: $0+1/0$. Любые другие сочетания удвоений образуют хаотическое распределение высот циклов (Купецкий, 1997: 51).

Усредненные попарно максимумы 22-летних циклов создают максимумы 44-летних циклов. В 44-летних циклах обнаруживается четкое чередование средних максимумов и средних минимумов солнечной активности, что наглядно иллюстрирует таблица 3.4. Из этого чередования следует низкая солнечная активность до конца XX века и отсутствие катастрофического роста солнечной активности в начале следующего века.

**Таблица 3.4 – Индексы сходства, рассчитанные для MAX и MIN 11-летних циклов
солнечной активности; для средних MAX и MIN 22-летних циклов;
для средних MAX и MIN 44-летних циклов¹**

MAX 11-летних циклов				Средние		Средние		MIN 11-летних циклов			Средние		Средние	
Солнечный цикл	Год	Пятна на Солнце	Индекс сходства	22-летние MAX	Индекс сходства	44-летние MAX	Индекс сходства	Год	Пятна на Солнце	Индекс сходства	22-летние MIN	Индекс сходства	44-летние MIN	Индекс сходства
№	Год	Вт	SI	Вт	SI	Вт	SI	Год	Вт	SI	Вт	SI	Вт	SI
23	2000	140	1,0	149	1,0	140	1,0	1986	13	1,0	< 0		2	1,0
22	1989	158	1,1285					1976	13	1,0				
21	1979	156	1,1142	131	0,8701			1964	10	0,7692	11,5	1,0		
20	1968	106	0,7571					1954	4	0,3077			6,5	3,25
19	1957	190	1,3571	171	1,1476	132	0,9428	1944	10	0,7692	7	0,6086		
18	1947	152	1,0857					1933	6	0,4615				
17	1937	114	0,8142	96	0,6442			1923	6	0,4615	6	0,5217		
16	1928	78	0,5571					1913	1	0,0769			3,2	1,2
15	1917	85	0,6071	84	0,5637	80	0,5714	1901	3	0,2308	2	0,1739		
14	1905	64	0,4571					1889	6	0,4515				
13	1893	85	0,6011	75	0,5033			1878	3	0,2308	4,5	0,3913		
12	1883	64	0,4571					1867	7	0,5385			7,5	3,75
11	1870	139	0,9928	118	0,7919	124	0,8857	1856	4	0,3077	5,5	0,4782		
10	1860	96	0,6857					1843	11	0,8461				
9	1848	124	0,8857	131	0,8791			1833	8	0,6154	9,5	0,8226		
8	1837	138	0,9857					1823	2	0,1538			4	2,0
7	1830	71	0,5071	58	0,3893	74	0,5285	1810	0	0	1	0,0869		
6	1816	46	0,3285					1798	4	0,3077				
5	1804	48	0,3428	90	0,6040			1784	10	0,7692	7	0,6086		
4	1787	132	0,9428					1775	7	0,5384			8,2	4,1
3	1778	154	1,1	130	0,8724	107	0,7643	1766	11	0,8461	9	0,7826		
2	1769	106	0,7571					1755	10	0,7692				
1	1761	86	0,6142	84	0,5637			1744	5	0,3846	7,5	0,6522		
0	1750	83	0,5928					1733	5	0,3845			5	2,5
-1	1738	85	0,6081	88	0,5906	70	0,5	1723	10	0,7692	7,5	0,6422		
-2	1727	90	0,6428					1711	0	0				
-3	1717	52	0,3714	51	0,3423			1700	5	0,3846	2,5	0,2174		
-4	1705	49	0,35											

¹ Индексы сходства в таблице рассчитаны Павлом Арсиновичем (Pavle Arsinovic'), Цюрихский университет, Швейцария.

Любопытно, что этот 44-летний цикл «голая» статистика в числах Вольфа не находит, но именно 44-летние циклы в течение трех столетий (XVII, XVIII, XIX) обнаруживают в себе стройное чередование «низких-высоких» значений с их линейным возрастанием. Как показано в таблице 3.4, это возрастание при простом экстраполировании обещает небывалый рост солнечной активности в начале третьего тысячелетия типа «конца света». Однако начальные минимумы 44-летних циклов, точно также чередуясь по системе «низкий-высокий», все три века линейно снижались. И ко времени конца XX века простая экстраполяция уводит минимум в значение ниже нуля. Этого, естественно, быть не может. Поэтому уместно утверждать, что минимумы 44-летних циклов, зеркально отразившись от нулевого времени, в дальнейшем начнут возрастать, а максимумы соответственно снижаться, что не приведет к катастрофическому росту солнечной активности. Поэтому скорого «конца света» опасаться не следует¹.

Купецкий установил еще одну важную закономерность: значения 44-летних средних максимумов ($Вт/м^2$) и средних минимумов ($Вт/м^2$) солнечной активности, стоящие рядом, физически различны, но сходны через один цикл (табл. 3.4). Из этого чередования следует низкая солнечная активность до конца XX века и отсутствие катастрофического возрастания в начале XXI века.

Матрицы оказались полезными при анализе изменчивости месячных, полумесячных и декадных значений ландшафтных элементов замерзающих морей. Статистическая достоверность была подтверждена параметрическим критерием Стьюдента, непараметрическим Манна-Уитни, ранговым критерием Фридмана и критерием согласия Пирсона².

Впервые Купецкий представил долгосрочный прогноз солнечной активности, выраженной в относительных числах Вольфа, до 2050 года (табл. 3.2), а в графической форме – до 2100 года (рис. 3.3). На базе прогноза В.Н. Купецкого представилась возможность дать единый прогноз изменений климата для территории п-ова Таймыр и других сопредельных регионов Арктики на основе солнечно-земных связей (табл. 3.2).

¹ Купецкий В.Н. Льды чукотских морей. Магадан: МАОБТИ, 1997. С. 51–53.

² Там же. С. 23.

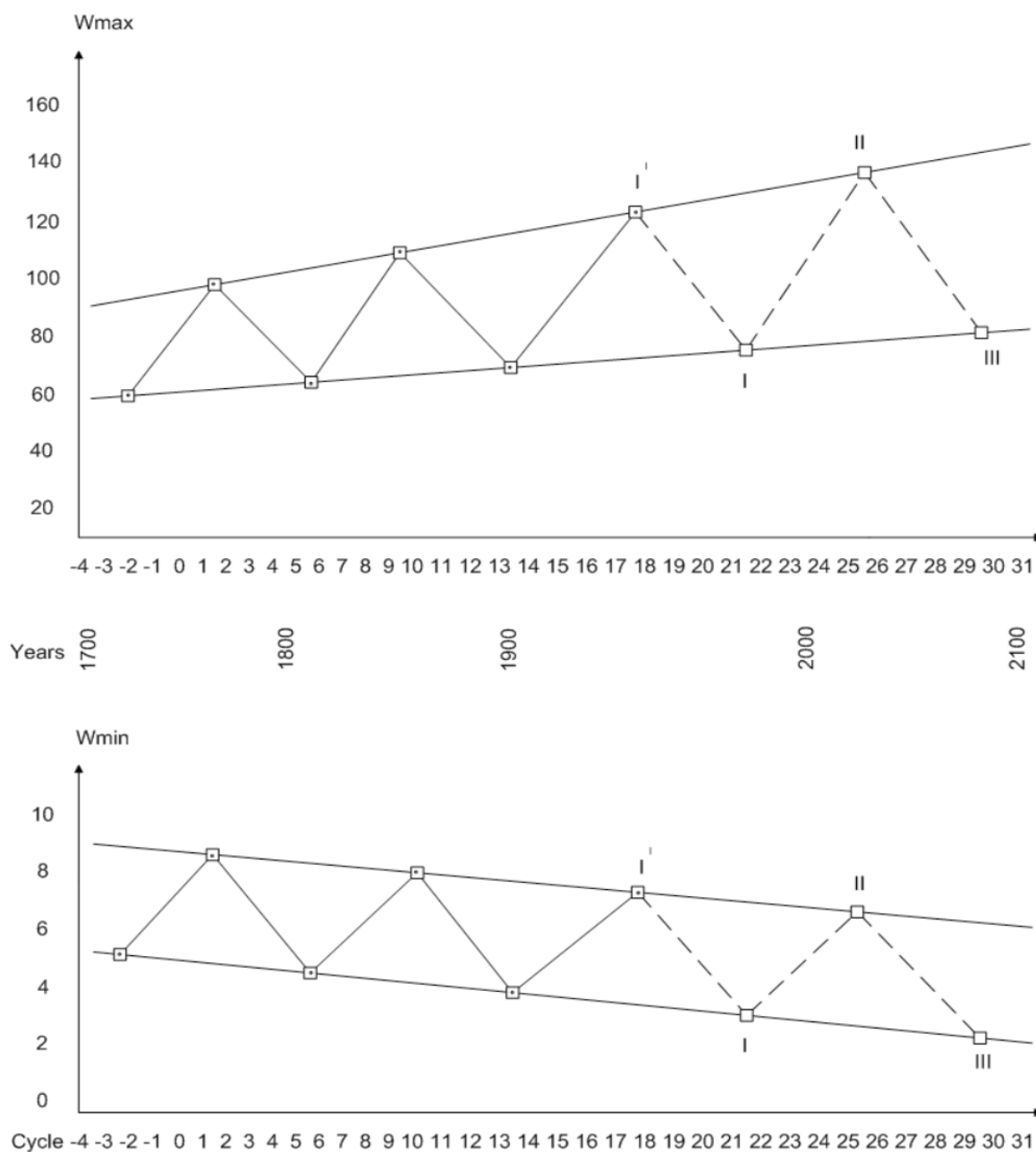


Рисунок 3.3 – Схема чередования высот максимумов и минимумов 44-летних циклов солнечной активности¹

В этом прогнозе впервые установлены объективные связи прошлого, настоящего и будущего, выраженные как в относительных международных числах Вольфа (W_t), отражающих изменения солнечной активности, так и в индексах сходства (SI), отражающих изменения природной среды в прошлом под воздействием солнечной активности.

¹ Купецкий В.Н. Льды чукотских морей. Магадан: МАОБТИ, 1997.

Представленный «прогноз В.Н. Купецкого и В.В. Украинцевой» – это ценнейший инструмент для прогнозирования изменений климата на локальном, региональном и глобальном уровнях.

Метод индексов сходства работает надежно на уровне биологических систем. Естественно, возникла идея применить его для оценки активности Солнца, проявляющейся в количестве пятен и их групп на его поверхности, – в международных числах Вольфа.

«Солнечное пятно – это эмпирический параметр (показатель), который используется, чтобы описать степень солнечной активности. Этот параметр используется с 1609 года и основан на наблюдениях во многих индивидуальных обсерваториях, которые используют следующую формулу (3.1):

$$N = k(10g + f), \quad (3.1)$$

где g – число групп солнечных пятен;

f – общее число индивидуальных пятен;

k обеспечивает связь между данными всех обсерваторий.

Это необходимо, так как суммарное среднее число солнечных пятен зависит от числа наблюдений в различных обсерваториях как следствие облачного покрова и, в частности, в прошлом, от инструментальных факторов и, прежде всего, от качества «наблюдений» в каждой конкретной обсерватории» (Beer et al., 2012).

Для расчета индексов сходства нами использована та же формула, что и при расчете SI в биологических системах, а именно:

$$\frac{X}{Y} = SI, \quad (3.2)$$

где X – количество солнечных пятен и их групп в любом цикле и году наблюдений в прошлом;

Y – количество солнечных пятен и их групп в цикл и год современных (настоящих) наблюдений;

SI – индекс сходства, это параметрический индекс активности Солнца, определяемый по количеству пятен на его поверхности в числах Вольфа.

Рассмотрим пример расчета индексов сходства (SI) при оценке солнечной активности.

Цикл 23, 2000 год. Число солнечных пятен, наблюдаемых на Солнце в 2000 году равно 116,8.

Цикл 22, 1989 год. Число солнечных пятен, наблюдаемых на Солнце в этом году, равно 157,6. Разделив 157,6 на 116,8, получаем индекс сходства, равный 1,3493.

Индексы сходства рассчитаны для 29 циклов солнечной активности, начиная с 2000 по 1705 год для МАХ и МІN 11-летних циклов; для средних МАХ и средних МІN 22-летних циклов; для средних МАХ и средних МІN 44-летних циклов (табл. 3.4).

Анализ данных, представленных в таблице 3.4, позволяет сделать следующие принципиально важные выводы.

1. Метод индексов сходства правомерно и целесообразно использовать на уровне физических систем.

2. Все 11-летние циклы солнечной активности по числам пятен и их групп – индивидуальны. Индексы сходства эту индивидуальность отражают.

3. Средние минимумы солнечных пятен в 11-летних циклах и в 22-летних циклах индивидуальны. Индексы сходства эту индивидуальность также отражают.

4. Средние максимумы солнечных пятен в 44-летних циклах и средние минимумы солнечных пятен в 44-летних циклах, стоящие рядом в шкале времени (матрица солнечного времени), различаются, но сходны через один цикл. Индексы сходства (*SI*) наглядно иллюстрируют эту особенность 44-летних циклов солнечной активности. Следовательно, напрашивается вывод о том, что, возможно, эта особенность 44-летних циклов солнечной активности является закономерностью, не исключено, что и законом. Это должны показать дальнейшие наблюдения над солнечной активностью. Полагаем, что эту фундаментальную закономерность целесообразно будет использовать при прогнозировании климатических изменений на уровне локальных, региональных и глобальных прогнозов.

3.3 Солнечный цикл 24: выводы М. Локвуда

Использование солнечных пятен, выраженных в относительных числах Вольфа, для целей прогнозирования рассматривается в работах многих авторов. Эти работы и методы прогнозирования представлены в очень важном обзоре профессора Локвуда (Lockwood, 2012). Цель обзора, по мнению автора, состоит в детализации разработки реконструкций солнечного и гелиосфер-

ных магнитных полей по данным геомагнитной активности и проведении некоторых сравнений с результатами изучения космогенных изотопов и моделей, основанных на наблюдениях над пятнами на Солнце.

В связи с трудностью прогнозирования чисел солнечных пятен даже только для одного цикла вперед, предсказуемость по нескольким индексам солнечной активности на длительных временных шкалах не может быть использована (Lockwood, 2013). Ранее Локвуд с соавторами (Lockwood et al., 2011a) использовали автокорреляционные функции, разработанные Хонгом и Биллингсом (Hong and Billings, 1999; цитируется по М. Lockwood, 2013), чтобы доказать, что хотя предсказуемость чисел солнечных пятен действительно относительно низкая, тем не менее она значительно запаздывает для открытого солнечного притока и потенциала солнечной модификации.

В другой работе (Lockwood et al., 2011b) было доказано, что предсказуемость эта является вполне достаточной и позволяет прогнозировать начало продолжительного солнечного минимума, такого как минимум Маундера (1645–1715 гг. AD).

Без полного понимания физики продолжительных изменений не может быть полной уверенности, что этот тренд продолжится (Lockwood, 2013: 71).

Однако есть все признаки того, что цикл 24 заканчивается или прошел свой пик. Северное поле Солнца закрылось; пятна северного полушария мигрировали широтой ниже (это характерно для солнечных пятен максимум 12 циклов, кроме трех циклов, для которых есть данные о широтах пятен). Оказалось, что в южном полушарии Солнца полярное поле закрыто постоянно, однако все же открывается, и пятна мигрируют к экватору широтой ниже (это характерно для солнечных пятен максимум 6 циклов из 12). Таким образом, солнечные пятна средних широт северного полушария показывают вероятность 75%; этот максимум солнечных пятен приходится на дату 20 апреля 2013 года, а в южном полушарии вероятность составляет 50%. Максимум солнечных пятен был достигнут к дате 1 августа 2013 года.

Основное понимание, которое сложилось у профессора Локвуда, состоит в том, что, хотя число солнечных пятен возвра-

щается (или почти возвращается) к базовому уровню в каждый солнечный минимум, маскирует важнейший факт того, что Солнце не возвращается к тому же самому состоянию в каждый период минимума солнечных пятен. *Долгосрочные изменения в корональном и гелиосферном полях Солнца показывают, что каждый солнечный минимум не является тем же самым, что и предыдущий.*

Изменение Солнца от цикла к циклу в солнечный минимум является основой метода «предвестника, предтечи» (precursor method) для прогнозирования пика цикла солнечных пятен (Schatten et al., 1978), а использование полярных полей Svalgaard'a и Cliver'a (2005) позволили дать прогноз цикла 24 исключительно точно, полагает Локвуд. Эти долговременные изменения воздействуют на многие факторы, такие как приток галактических космических лучей, достигающих Земли, солнечные энергетические частицы, формирующиеся перед выбросом солнечной корональной массы, и солнечно-ветровые взаимодействия, что обуславливает солнечно-земную активность, вызывая такой феномен, как геомагнитно обусловленный поток в силовых сетках. **Следовательно, мы должны принимать в расчет как «место изменения климата», так и «место изменения погоды», полагает Локвуд.**

Другая важная реализация этого обзора состоит в том, что информация теряется при группировании изменений разных серий наблюдений и индексов в одну общую классификацию «солнечная активность» – catch-all «solar activity». В частности, хотя изменения многих геомагнитных индексов имеют много сходств (например, все отражают декадные циклы солнечных пятен), ими измеряются различные части систем потоков околоземного пространства, и они имеют различную зависимость от частиц солнечного ветра. Эти установленные различия могут быть использованы для получения новой информации, подчеркивает Локвуд. Обсуждаемый здесь пример показывает, что комбинация групп и межсуточного изменения геомагнитных индексов позволит нам отделить эффекты скорости солнечного ветра и межпланетного магнитного поля и, таким образом, реконструировать оба эти явления в прошлом.

Обзор имеющихся данных восполняет пробелы реконструкций из известных источников исторических данных и ограниченного числа статистических данных. Тем не менее значительная согласованность между реконструкциями существует для периода 1880-х годов – н.в. Таким образом, использование геомагнитной активности позволяет продлить 50-летнюю продолжительность данных местных наблюдений до 80 лет назад во времени с большей уверенностью. До периода 1880-х годов наблюдаются усиливающиеся различия. В тот период не было достаточного количества станций для наблюдений за солнечной активностью, и существовали они во все более возрастающем «шуме» окружающей среды городов. В конце концов, они должны были перемещаться, как и города, окружавшие их. Оборудование для калибровок было тогда менее точным и более низкого качества. Таким образом, хотя в теории есть информация о наблюдениях для длительности 75 лет назад в прошлое, большой уверенности в ней нет. Нельзя сказать, что полные 185-летние записи не могут быть переосмыслены, но более ранние данные будут всегда ассоциироваться с большей неопределенностью (Lockwood, 2013).

Наиболее важен факт, с точки зрения профессора Локвуда, который свидетельствует о том, что период современной эпохи для Солнца был необычайно активным, в сравнении с последним тысячелетием. Нас не должно удивлять происходящее явление, что средние уровни солнечной активности в настоящее время сокращаются и что цикл 24 является более слабым в сравнении с другими отрезками этой эпохи. Космогенные изотопные данные говорят о том, что это уменьшение скорее продолжится, чем нет (Lockwood, 2013). Это имеет большое значение для физики Солнца, солнечно-земной науки и промежутка современной эпохи. Некоторые эффекты продолжающегося сокращения солнечной активности хорошо известны, например, приток космических лучей на Землю возрос. Однако других фактов нет. Возможно, что обширные отрезки современной эпохи благополучно выдержат «события» солнечных штормов, которые могут стать меньшими в числе, но более суровыми в их воздействии на Землю, такие, например, как CMEs, выбрасываемые в нижние слои гелиосферы. CMEs – это сильно нагретые массы газов солнечной короны, вы-

брасываемые сильными взрывами; эти взрывы могут выбрасывать миллионы тонн плазмы на скоростях от 500–2500 км в секунду (рис. 3.4). Количество этих явлений возрастет, а время их транзита на пути от Солнца к Земле потенциально сократится.

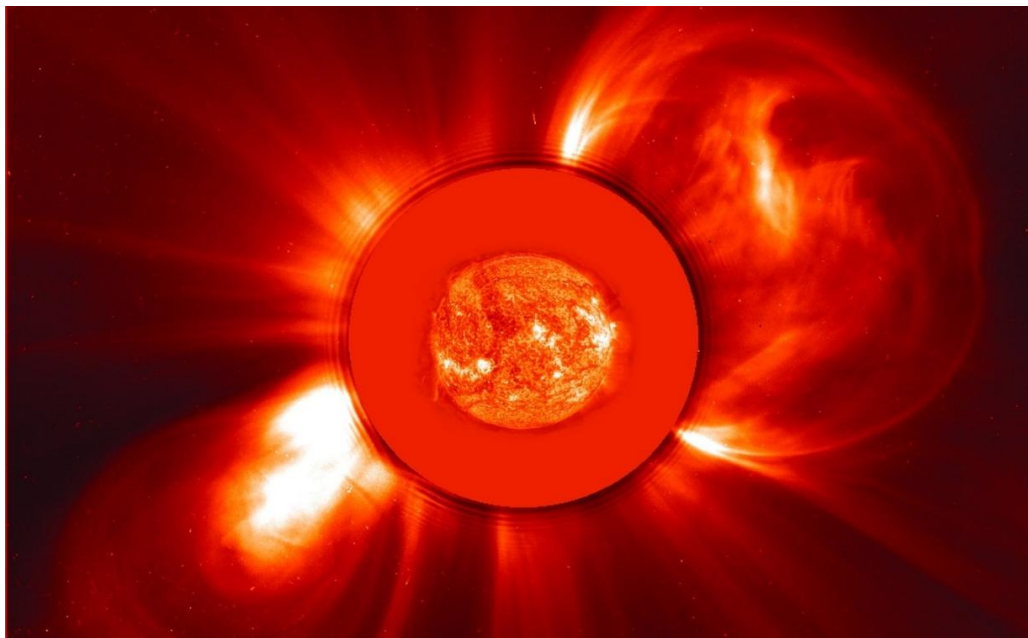


Рисунок 3.4 – Выбросы корональных масс, наблюдаемые NASA в день 20-летия со времени создания SOHO, 2018¹

Продолжительный низкий минимум между циклами 23 и 24 был «исключительным» в контексте интервала эпохи и может дать толчок другим изменениям, которые ожидаются в настоящее время. Все свидетельствует о том, что 24-й цикл только что прошел свой пик и что этот пик был слабым; развитие солнечной активности в следующем минимуме будет очень важным для мониторинга (Lockwood, 2013: 63-71). Профессор Локвуд полагает, что выявленные закономерности представляют большую научную ценность, а современная техника научных наблюдений, применяемая к спокойному Солнцу, научит нас много большему, чем продолжение высоких уровней солнечной активности, наблюдаемое в течение 21, 22 и 23 циклов.

Используя метод «предвестника, предтечи», разработанный Schatten et al. (1978), и данные о динамике полярных полей

¹ Celebrating 20 Years of the Solar and Heliospheric Observatory (SOHO) [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nasa.gov/sites/default/files/thumbnails/image/c2eitnov800.jpg> (дата обращения: 28.11.2022).

(Svalgaard and Cliver, 2005), Локвуд (Lockwood, 2013) дает прогноз 24-го цикла солнечной активности, как он считает, исключительно точно.

Оказывается, метод «предвестника, предтечи» вписывается в закон удвоения 22-летних циклов солнечной активности. Следовательно, закон удвоения 22-летних циклов солнечной активности является фундаментальным, естественным законом солнечной активности. Этот закон проявляется особенно наглядно в средних 44-летних циклах максимумов солнечных пятен, выраженных в международных относительных числах Вольфа. Напрашивается вывод о том, что 44-летний (полувековой) цикл солнечной активности – это базовый цикл для прогностических целей. Именно здесь необходимо отметить, что С.В. Авакян (2013) обосновывает решающее влияние вековых циклов солнечно-геомагнитной активности на повышение температуры приземного воздуха, наблюдаемое в последние десятилетия (глобальное потепление). А ведь вековой цикл – это удвоенный 44-летний цикл активности Солнца в рамках удвоения солнечных циклов, как показано выше. Полагаем, дальнейшее наблюдение за солнечно-геомагнитной активностью позволит гелиофизикам решить эту фундаментальную проблему.

Данные о космогенных радионуклидах показывают, что в голоцене в течение последних 9300 лет было 26 Великих (больших) Минимумов солнечной активности. В последние 400 лет (1600–2000 гг. нашего времени) установлено три периода снижения солнечной активности, а именно: минимум Маундера (70 лет), минимум Дальтона (100 лет) и минимум Глайзберга (120 лет). Эти данные свидетельствуют о том, что Солнце находилось в условиях Grand Minimum около 15% в последние 9300 лет. В течение 85% этого времени Солнце было активным. Солнечные магнитные поля были сильными, интенсивность галактической космической радиации была низкой. Эти данные подтверждают, что существуют физические процессы, связанные с Солнцем, которые обусловлены этими относительно короткими эпизодами низкой солнечной активности (Beer et al., 2012).

Прямая связь приземных температур воздуха с количеством пятен на Солнце доказана С.В. Авакяном (2013) на основании

концепции радиооптического трехступенчатого триггерного механизма. Им же показана прямая связь между количеством пятен на Солнце и облачностью на Земле (рис. 3.5): верхняя кривая – текущий ход величины солнечной постоянной (TSI), средняя кривая – усредненное за месяц число солнечных пятен (R). Нижний график на рисунке 3.6 представляет собой изменение площади глобальной полной облачности с месячным усреднением.

На графике отражены четыре периода изменений:

- 1) с 1983 по 1985–1987 годы – рост облачности в связи с возрастанием коротковолновой активности Солнца и геомагнитной активности (числа мировых магнитных бурь);
- 2) 1987–2000 годы – сокращение потока КУФ (излучения Солнца и числа вспышек на Солнце);
- 3) 2000–2003 годы – рост бурь и коротковолновой электромагнитной активности, продолжавшейся вплоть до 2003 года;
- 4) с 2004 года – общее падение числа мировых магнитных бурь и коротковолновой электромагнитной активности Солнца.

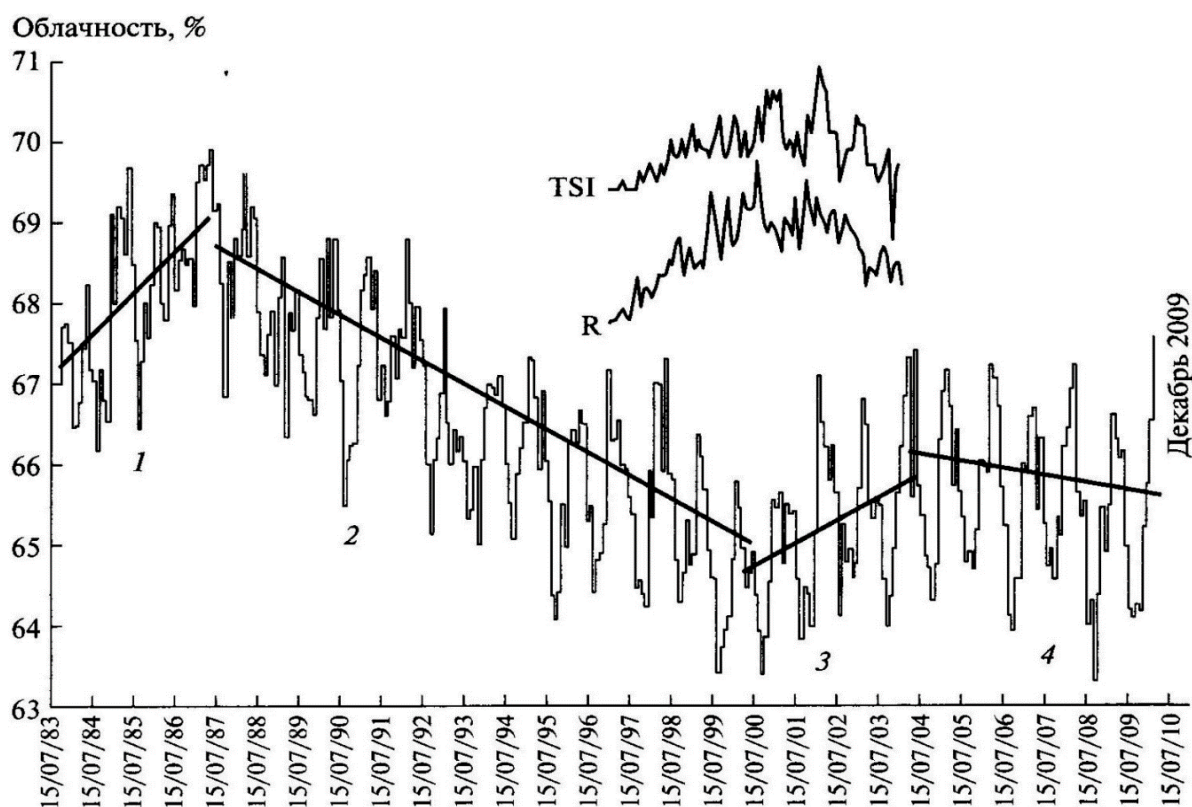


Рисунок 3.5 – Изменение площади глобальной полной (суммарной) облачности по наблюдениям со спутников¹

¹ Авакян, 2013.

3.4 Холодные и теплые зимы на планете Земля и их связь с солнечной активностью

Представим свидетельства из исторических документов и новые данные, в которых показана объективная связь температурных условий с количеством пятен на Солнце в некоторых регионах Земли.

1. Холодная зима 1708 года. Солнечный цикл (-4) (табл. 3.2).

«Обе армии (русская и шведская) несли потери не только в ходе военных действий, но и от необычайно суровой зимы. Стужа в 1708 году охватила всю Европу и нанесла огромный ущерб садам и посевам. Как правило, мягкая зима на Украине в том году выдалась тоже на редкость холодной. Солдаты в лучшем случае обмораживали лицо, руки, ноги, в худшем – замерзли совсем. 22 декабря 1708 года Карл Ранне доносил Меншикову: “Кого не пошлешь, повредит лицо, либо руки или ноги ознобе (обморозит)”» (Павленко, 1994).

Обобщенные сведения о потерях русской армии от декабрьских морозов 1708 года приводит «Гистория Свейской войны» (История Шведской войны): «В то время мороз был чрезвычайный, так велик, что птицы на воздухе мерзли; и хотя нашу часть дороги шли возле лесу, также ночевали около деревень, однако же со 150 человек ознобили руки и ноги, и несколько десятков померло» (Павленко, 1994: 294). Этот исторический документ подтверждает, вне всякого сомнения, прямую связь холодной войны 1708 г. с очень низкой активностью Солнца.

2. Холодные зимы 1810–1815 годов. Солнечный цикл 6 (табл. 3.2).

1812-й год – Отечественная война России с Францией. Французский император Наполеон I (1769–1821) устанавливает диктаторский политический режим. Благодаря победоносным войнам расширяет территорию Франции и ставит в зависимость от Франции большинство государств Западной и Центральной Европы. Начав войну с Россией, армия Наполеона доходит до Москвы. Москва фактически была сожжена полностью. Мудрое руководство М.И. Кутузова русской армией привело к разгрому

армии Наполеона I. В сражениях на реке Березина 14–16 ноября 1812 года наполеоновская армия численностью 75–80 тысяч человек потеряла около 50 тысяч, 6 частей артиллерии, обозы и перестала существовать; ноябрь–декабрь – окончательная гибель французской армии; 14 декабря – изгнание остатков «Великой армии» из России. Оставшиеся в живых 20 тысяч человек отступали, перенося сильные морозы.

Данные о солнечной активности в период 1810–1815 годов: 1810/0 Вт/м², 1811/1 Вт/м², 1812/5 Вт/м², 1813/12 Вт/м², 1814/14 Вт/м², 1815/35 Вт/м² (табл. 3.2) подтверждают изменение климатических условий в сторону сильного похолодания. На территории России зимы были в этот период очень холодными.

3. Холодная зима 1910 года. Север Канады.

Посредством большого количества фактических данных установлено, что основным фактором распространения пандемии COVID-19 на планете Земля в 2020 году является климатический фактор, а именно – теплые зимы 2014–2020 годов (Украинцева, Украинцев, 2020). Другие факторы, в том числе и человеческий фактор, конечно же, имеют определенное значение.

Напомним, что к числу вирусных заболеваний человека относятся оспа, бешенство, детский паралич, корь, желтая лихорадка, папиллома и инфекционный насморк. К счастью, многие вирусные инфекции вызывают появление длительного иммунитета против повторной инфекции. Чрезвычайно эффективны, например, прививки против оспы, бешенства, желтой лихорадки.

Вот как описывал эпидемию оспы великий путешественник и писатель Америки Дж.О. Кервуд (1988) на севере Канады в 1910 году: «Девятнадцать лет назад с юга пришла молва, а вслед за ней явилась и «красная смерть». Уже несколько недель отовсюду ползли слухи, что надвигается «красная смерть». Слухи росли, множились и холод великого страха, словно северный ветер, леденил сердца людей на всем пространстве от границ цивилизованного мира до самого залива.

Ужас перед ней не изгладился из памяти людей, населявших леса, потому что повсюду от бухты Джеймс до озерной страны Атабаски были раскиданы сотни безвестных могил – страшные последствия этой болезни.

И вот потянулись дни и недели, принесшие зиме 1910 года недобрую славу самой жестокой зимы по всей истории Севера. В течение месяца и люди, и звери всего края были на волосок от полного вымирания: мороз, голод и оспа вписали в летопись жизни лесного населения страшную главу, которая останется в памяти многих поколений. И вот наступила ночь, когда взошедшая над горизонтом белая луна оказалось окрашенной красным ободом. Это сулило холода, страшные холода. Страшные эпидемии всегда приходили в дни самых больших холодов, и чем ниже опускалась температура, тем губительнее было действие болезни. Оспа принесла страшные бедствия людям. Для жизни диких обитателей леса наступили ужасные дни – дни голода и смерти» (Кервуд, 1988).

Это историческое трагическое событие 1910 года, описанное Дж.О. Кервудом, полностью совпадает с холодными фазами (годами) 14-го цикла солнечной активности – 1908/48 Вт/м², 1909/44 Вт/м², 1910/19 Вт/м², 1911/16 Вт/м², 1912/4 Вт/м², 1913/1 Вт/м² (табл. 3.2).

Данные матрицы солнечной активности свидетельствуют наглядно о том, что число пятен на Солнце в период 1908–1913 годов было очень низким. Однако великий путешественник и писатель Америки Дж.О. Кервуд тогда не мог знать об этих фундаментальных данных.

Приведенные выше события из истории жизни на планете Земля являются бесспорным доказательством того, что эпидемии и пандемии вирусных заболеваний человека и животных могут возникать как в периоды теплых зим, так и в периоды жестоких зимних холодов.

4. Холодные снежные зимы 2006–2010 годов. Солнечные циклы 23–24 (табл. 3.2).

Количество пятен на Солнце в эти годы было очень низким: 2006/16 Вт/м², 2007/7.9 Вт/м², 2008/2.8 Вт/м², 2009/4.2 Вт/м², 2010/20.2 Вт/м². Только в 2011 году количество пятен на Солнце повысилось до 49,3 Вт/м² (табл. 3.2). Фотография, сделанная 18 января 2010 года в г. Санкт-Петербурге (Выборгский район, пересечение проспекта Энгельса и улицы Композиторов), – надежный факт этого природного события (рис. 3.6), а также фотография, сделанная в январе 2010 года в г. Санкт-Петербурге (Дворцовая площадь) (рис. 3.7).



**Рисунок 3.6 – Холодная снежная зима 2010 г.
в г. Санкт-Петербурге, Россия¹**



**Рисунок 3.7 – Карета для туристов на дворцовой площади
в г. Санкт-Петербурге, Россия²**

Сведения из исторических документов о холодных зимах в прошлом и новые данные о холодной снежной зиме 2010 года в г. Санкт-Петербурге, приведенные выше, являются ценными научными фактами, которые подтверждают объективную связь климатических условий на Земле с активностью Солнца, выражае-

¹ Фото В.В. Украинцевой.

² Фото Л.Б. Цой.

мую в форме солнечных пятен на его поверхности. Эти данные свидетельствуют о том, что холодные зимы на Земле обусловлены небольшим количеством солнечных пятен, наблюдаемых на его поверхности (не более 0–50 Вт/м²).

Теперь необходимо рассмотреть данные таблицы 3.5, которая представляет собой матрицу циклов и фаз активности Солнца с 1700 по 2012 годы по минимумам и максимумам пятен на поверхности Солнца.

Таблица 3.5 – Активность Солнца, выраженная в фазы солнечных циклов в относительных числах Вольфа – Min Вт/м² и Max Вт/м²

Цикл, №	Длительность цикла, лет	Фазы солнечных циклов, их длительность, лет	
		Min Вт/м ²	Max Вт/м ²
24	11	7	4
23	11	6	5
22	11	5	6
21	10	3	7
20	11	5	6
19	11	7	4
18	11	4	7
17	10	5	5
16	9	6	3
15	11	6	5
14	12	9	3
13	12	8	4
12	11	7	4
11	11	6	5
10	11	6	5
9	13	7	6
8	10	4	6
7	10	7	3
6	13	13	-
5	12	12	-
4	14	7	6
3	9	4	5
2	9	4	5
1	11	7	4
0	11	9	2
-1	11	6	5
-2	10	6	4
-3	12	11	1
-4	11	11	
Всего	319	198/ 62%	121/ 38%

Циклы солнечной активности, их продолжительность по годам учтены с (-4) по 24 цикл (1700–2012 гг.), а это 319 лет. Из этих 319 лет фазы с низким количеством солнечных пятен на поверхности Солнца составили 198 лет (62% от всех учтенных 319 лет). При этом в циклах 5 и 6 и в цикле (-4) фаз максимумов солнечной активности не было зарегистрировано, а в цикле 3 была зарегистрирована лишь одна фаза высокой солнечной активности. При существующей современной градации солнечной активности это составляет 0–50 пятен Вольфа на поверхности Солнца. Следовательно, все эти четыре цикла были циклами низкой солнечной активности. По сведениям из исторических документов, как показано выше, это были периоды объективно холодных зим: 1708, 1810–1814, 2008–2011 годы. На циклы повышенной и высокой солнечной активности (50–150 Вт/м² и выше) приходился лишь 121 год (38% от всех учтенных 319 лет). Рисунок 3.8 наглядно иллюстрирует динамику циклов и фаз солнечной активности в течение последних 319 лет нашего времени.

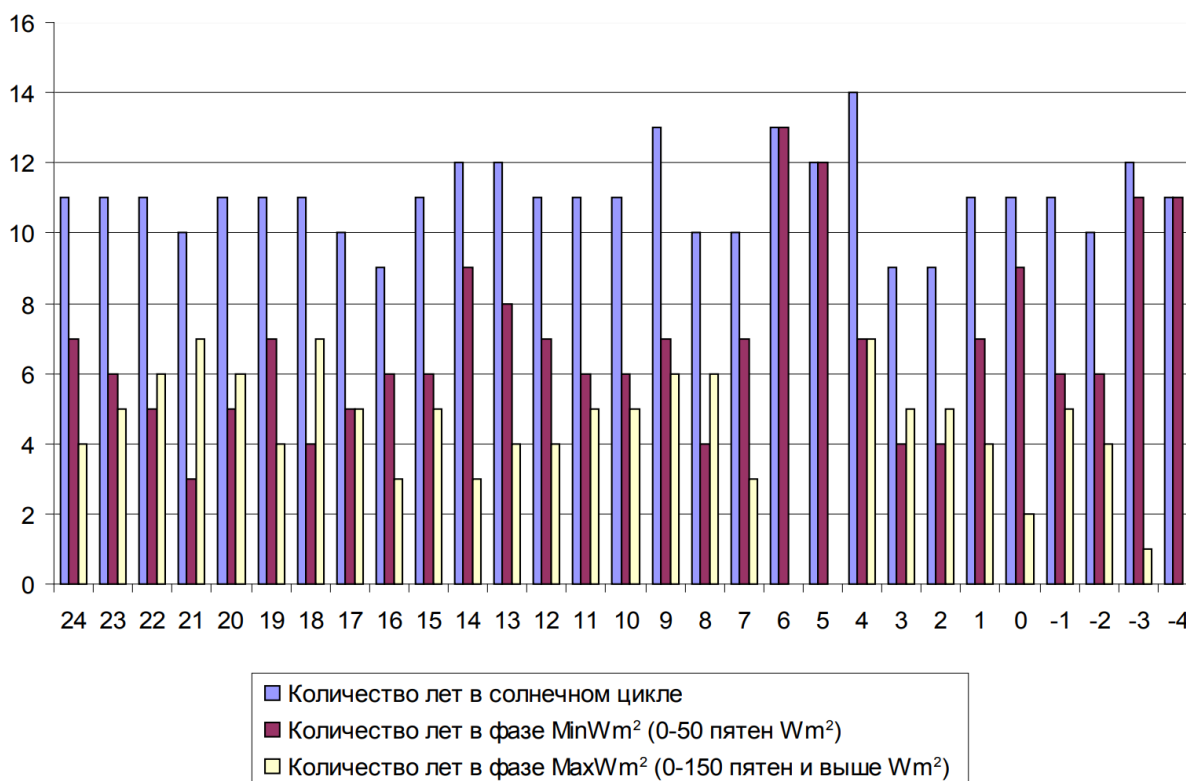


Рисунок 3.8 – Гистограмма циклов и фаз солнечной активности, выраженной в числах Вольфа (Вт/м²) с 24-го цикла по (-4) цикл

5. Теплая зима 2017–2018 годов. Солнечный цикл 24.

Зима 2017–2018 включает в себя следующие месяцы: декабрь 2017 года – $24,6 \text{ Вт/м}^2$; январь 2018 года – $23,5 \text{ Вт/м}^2$; февраль 2018 – $22,4 \text{ Вт/м}^2$. Числа Вольфа приведены по данным NASA. По градации солнечной активности приведенные показатели солнечной активности каждого из трех зимних месяцев лежат в интервале пониженной солнечной активности ($0\text{--}50 \text{ Вт/м}^2$), тогда как число солнечных пятен за три месяца зимы составило в сумме $70,5 \text{ Вт/м}^2$. Следовательно, показатель активности Солнца за зиму 2017–2018 годов лежит в рамках повышенной солнечной активности ($50\text{--}150 \text{ Вт/м}^2$). Этот факт и является веским аргументом в обоснование теплой зимы 2017–2018 годов и, несомненно, теплых зим в прошлом.

Повышенная солнечная активность в зимний сезон 2017–2018 годов привела к повышению облачности в нижних слоях атмосферы Земли (рис. 3.3), температур воздуха в приземных слоях Земли, количества осадков в виде снега и даже дождей. Накапливаемый в течение теплой зимы снег не успевает растаивать в течение достаточно холодной весны и лета в регионах высоких широт северного полушария и превращается в снежники на равнинных территориях (рис. 3.9), а в горных районах ведет к росту ледников.



Рисунок 3.9 – Снежники на второй надпойменной террасе реки Новая, левый приток реки Хатанга, п-ов Таймыр, район заповедника «Таймырский», 1975–1976 гг.¹

¹ Фото В.В. Украинцевой.

Жизнь на планете Земля идет в течение более чем 300-х лет в ритме жизни ее главного светила – Солнца, в ритме его цикличности. Главные объективные доказательства – это данные матриц солнечной активности.

Оценивая все приведенные выше данные за последние 319 лет, необходимо сделать следующие важнейшие выводы.

1. Длительность солнечных циклов варьируется от 7 до 14 лет.

2. Каждый цикл солнечной активности включает фазы (годы) низкой солнечной активности (Min чисел Вт/м²) и фазы высокой солнечной активности (Max чисел Вт/м²). Длительность этих фаз также варьируется, что наглядно отражают данные таблицы 3.3 и рисунка 3.8.

3. В течение 319 лет наблюдений над активностью Солнца по солнечным пятнам на его поверхности на фазы Min Вт/м² приходится 198 лет, что составляет 62% от всех учтенных 319 лет, тогда как на фазы Max Вт/м² приходится лишь 121 год, или 38% от всех учтенных 319 лет наблюдений.

Таким образом, из представленных фактов следует фундаментальный вывод: Солнце – вечный двигатель, машина времени, которая работает циклично. Годы работы его низкой активности сменяются годами высокой активности, за которыми вновь следуют годы низкой активности и т.д. Эти физические процессы наглядно отражает матрица солнечного времени по числам Вольфа и матрица солнечного времени по минимумам и максимумам солнечных фаз, выраженных в числах Вольфа. Здесь лишь уместно напомнить и подчеркнуть тот факт, что солнечная активность есть функция непрерывная.

4. Главную роль в формировании солнечных циклов и фаз играют следующие структурные слои Солнца: ядро (1), зона излучения (2), зона конвенции (3), зона фотосферы (4), зона пятен на Солнце (7).

5. Установленные фазы солнечных циклов, выраженные в числах Вольфа, являются отражением физических процессов в ядре Солнца. Фазы повышенной и высокой солнечной активности (50–150 Вт/м²), на которые приходился 121 год, соответствуют содержанию водорода в ядре Солнца (38%); тогда как фазы низкой солнечной активности (0–50 Вт/м²), на которые приходилось 198 лет, соответствуют содержанию гелия в ядре Солнца (59%) и остальных элементов (3%) за учтенные 319 лет наблюде-

ний. Полагаем, совпадение данных, полученных о фазах солнечных циклов, выраженных в годах, является отражением объективных физических процессов, происходящих на Солнце, и связи изменений климата на Земле с этими физическими процессами.

6. При этом только циклы (-4), (-3), (1705–1720 гг.), 5-й и 6-й циклы (1810–1823 гг.) были периодами похолоданий климата, о чем свидетельствуют холодные зимы на территории Европы, в Украине и в России, характеристика которых представлена выше.

7. Приведенные выше данные отражают тот базовый факт, который важен для прогнозирования климатических изменений как локального, регионального, так и глобального уровня. При этом прогнозирование климатических изменений локального и регионального уровней наиболее целесообразно выполнять с учетом фаз активности Солнца. Что касается прогнозирования климатических изменений на Земле глобального уровня, то их следует выполнять на уровне солнечных циклов в целом путем наложения эпох.

3.5 Вода, реки, озера, водохранилища – богатства Земли

Проблема маловодья ряда крупных рек России – Волги, Оки, Дона, других крупных рек, озер и водохранилищ Европейской части России – это одна из актуальнейших проблем современности. Несомненно, проблема воды, усыхания и обмеления рек, озер, водохранилищ волнует всех жителей Земли, всех государств независимо от их государственного строя.

Волга – крупнейшая река Европейской части России – высыхает. Рост водности Волги замедлился из-за потепления климата и снижения в среднем снежного покрова.

Ока – крупнейший правый приток Волги. Ее длина 1500 км, площадь водосборного бассейна 245 тысяч квадратных километров. За последние 20 лет уровень воды в Оке понизился настолько, что в 2020 году была угроза отмены рейсов теплоходов из-за многочисленных отмелей.

Дон – пятая по протяженности река в Европе длиной 1870 км и площадью водосборного бассейна 422 тысячи километров – существенно высохла из-за затянувшегося маловодья и ряда климатических изменений (Героева, 2020). Каковы причины климатических изменений А. Героева не обсуждает.

Русла рек Волги и Дона близко подходят друг к другу в их низовьях. В этом месте людьми создано Цимлянское водохранилище.

Река Несветай – крупный приток реки Дон. В недалеком прошлом этот приток реки Дон был полноводной рекой. В ее водах водилась крупная рыба ценных пород. Окаменелый фрагмент позвоночника древней крупной рыбы, вероятно севрюги, найден Алексеем Сафроновым – жителем поселка Родионовка на крутом правом берегу реки Несветай в окрестностях поселка Родионовка. Длина этого фрагмента позвоночника рыбы, некогда обитавшей в реке Несветай, составляет 5,5 см, диаметр – 2,5 см (рис. 3.10А). Причем на стороне диаметра фрагмента едва видны концентрические кольца, подобные кольцам на спилах современных деревьев. На верхней его поверхности проходит отчетливо видимая длинная полая округлой формы полость, по которой проходил спинной нерв этой рыбы (рис. 3.10Б).



А



Б

Рисунок 3.10 – А – Окаменелый фрагмент позвоночника древней рыбы, правый крутой берег реки Несветай; Б – Верхняя поверхность позвоночника древней рыбы, по которой проходил ее спинной нерв

В настоящее время Несветай обмелела, дно ее заилилось, ценных пород рыб здесь больше не водится.

Так каков же тот ряд климатических изменений, о котором пишет А. Героева (2020), обсуждая важнейшую проблему маловодья некоторых крупных рек, озер и водохранилищ на территории России? Сегодня уже есть очень важные данные, позволяющие ответить на этот фундаментальный вопрос. Данные эти представлены ниже.

Главный триггер всех климатических изменений на Земле – Солнце. Связь температурных условий в некоторых регионах Земли с количеством пятен на Солнце установлена и показана С.В. Авакяном (2013) и нами (Украинцева, Украинцев, 2019, 2020). По пятнам на поверхности Солнца установлены циклы и фазы (годы) высокой и повышенной солнечной активности (50–150 чисел Вольфа) – зимы теплые, снежные, аналогичные зиме 2021 года. Пониженное и низкое число пятен на Солнце (0–50 чисел Вольфа) – зимы холодные (Украинцева, Украинцев, 2019). Объективная связь налицо.

Из приведенных в таблице 3.2 данных следует принципиально важный в теоретическом и практическом отношении ответ. Жизнь на планете Земля идет в течение 319 лет, начиная с минус 4-го цикла (1700 год) и по настоящее время, в ритме жизни Солнца, в ритме его циклической активности.

В каком же климате мы – земляне будем жить дальше? Данных о солнечной активности, естественно, пока нет. Эти данные будут поступать ежегодно из обсерваторий мира, как это было и ранее, начиная с 1700 года (табл. 3.2). Однако людям Земли просто необходим прогноз на будущее, чтобы планировать и строить свою жизнь во всех отношениях.

Используя закон, который разработал Александр Иванович Оль (1948): **«Два цикла солнечной активности – четный и нечетный (но не наоборот) образуют физическое единство»**, мы составили прогноз динамики солнечных пятен для **25-го цикла солнечной активности, а это 2019–2030 гг.** (табл. 3.2, верхняя строка).

Для составления прогноза солнечной активности для 25-го цикла по закону А.И. Оля нами, естественно, использованы дан-

ные двух ближайших к нему циклов – 22-го четного цикла плюс 23-го нечетного цикла (но не наоборот), деленные на 2 за каждый год в течение всех 11-и лет 25-го цикла. **В итоге нами составлен прогноз для 25-го цикла солнечной активности (табл. 3.2, верхняя строка). Все логично по закону А.И. Оля (1948). Закон А.И. Оля работает: теплая, снежная зима 2021 года доказывает объективно это природное явление.** Наш прогноз для 25-го цикла солнечной активности свидетельствует о том, что в течение 5 лет 25-го цикла – с 2021 по 2026 год солнечная активность будет высокая – 96,15–79,95 Вт/м². Климат на Земле будет достаточно теплым. Зимы будут теплые, снежные. **В это время реки, озера, водохранилища Земли получают больше воды.** С 2027 года по 2030 год солнечная активность значительно снизится и составит 34,30–12,7 Вт/м². Следовательно, климат будет характеризоваться похолоданием в эти последние фазы (годы) 25-го цикла. **В это время реки, озера, водохранилища Земли получают меньше воды.**

Здесь мы должны еще раз напомнить, что прогноз солнечной активности для любой территории Земли необходимо использовать с учетом широты и долготы реальных мест Земли – региональных и локальных (Украинцева, Украинцев, 2019).

Таким образом, основная стратегия для исследователей планеты Земля – это изучение активности Солнца и климата Земли. Это самые первостепенные и главнейшие задачи нашего времени для исследователей всей планеты Земля.

А теперь продолжим разговор о реках, озерах, водохранилищах Земли, их судьбе и об отношении людей Земли к воде. В настоящее время проблема маловодья рек, озер, водохранилищ в России и на всей Земле – проблема очень сложная и комплексная, которая требует неотложных решений.

1. Получение знаний в области изменений климата на Земле – глобального, регионального и локального уровней.

2. Охранные мероприятия вод на суше Земли – рек, озер, водохранилищ, которые должны быть приоритетными для государств любого строя на Земле. Обеспечиваться они должны, в первую очередь, любым из государств Земли на законодательном уровне, региональными и местными властями и, конечно, местным населением.

2.1. Проблема эта, прежде всего, должна решаться на законодательном уровне при поддержке властей любого из государств Земли.

2.2. Обеспечение больших финансовых и материальных затрат любым из государств Земли должно быть подтверждено законодательно.

Жителей поселка Родионовка (около 10 тысяч жителей) Родионово-Несветайского района состояние реки Несветай беспокоит уже давно. Этот крупный приток реки Дон – батюшки Дона, как называют его южане, некогда многоводный, теперь обмелел, заилился, рыбы в нем стало меньше, а рыбы ценных пород вообще нет. Жители поселка Родионовка обратились к местной власти по проблеме углубления и очистки русла фарватера реки Несветай от заиливания и загрязнений. Ответ от главы Родионово-Несветайского района – денег для этих работ нет, в бюджете эти работы не запланированы. Опрос людей поселка Родионовка инициативной группой людей этого поселка показал, что жители поселка Родионовка готовы платить за очистные работы и некоторые другие работы реки Несветай в рамках реальных их возможностей.

Таким образом, большие финансовые и материальные затраты для решения этой архиважной проблемы – вода, реки, озера, водохранилища земли – должны планироваться и включаться в бюджеты каждого государства Земли в соответствии с их законодательством.

Все приведенные данные позволяют нам сделать следующие важнейшие выводы.

1. Новый метод реконструкции климатов прошлого с использованием индексов сходства (SI) позволил впервые установить естественную эволюцию климата на полуострове Таймыр в голоцене, обеспечив надежный прогноз будущих климатических изменений для этого региона и других высокоширотных сопредельных России регионов Арктики.

2. Индексы сходства, рассчитываемые на основании данных метода спорово-пыльцевого анализа исследованных толщ отложений, являются элементами интегральными, отражающими адекватную связь между растительным покровом и климатом Земли.

Представленные научные данные являются доказательством того, что этот метод надежно работает на биологическом и физическом уровнях. Количественные характеристики климата, полученные с использованием индексов сходства (SI), репрезентативны и надежны для того, чтобы использовать их на региональном, локальном и глобальном уровнях.

3. Главнейший факт, установленный наукой за последние 25 лет, – это строение Солнца, его слои, циклы и фазы (годы) активности Солнца. Главную роль в формировании циклов и фаз играет ядро Солнца. Здесь вырабатывается солнечная энергия, источником которой является водород (38%) и гелий (59%); остальные элементы составляют лишь 3%.

4. Фазы солнечных циклов, выраженные в числах Вольфа, являются отражением физических процессов в ядре Солнца. Фазы высокой и повышенной активности Солнца, на которые приходится 121 год, или 38% от всех учтенных нами 319 лет, соответствуют содержанию водорода в ядре Солнца; тогда как фазы низкой солнечной активности, на которые приходится 198 лет, или 62%, соответствуют содержанию гелия в ядре Солнца. Следовательно, совпадение данных о фазах солнечных циклов, выраженных в годах, является отражением физических процессов, происходящих с Солнцем, и связи изменений климата на Земле с этими физическими процессами (Украинцева, Украинцев, 2019).

5. Из данных об активности солнечных циклов и их фаз следует научный факт планетарного уровня – флуктуации климата Земли в предстоящие 50–100 лет продолжатся в ритмах активности Солнца. Следовательно, составленный нами прогноз будущих изменений климата Земли для 25-го цикла солнечной активности (2019–2030 гг., табл. 3.2, верхняя строка), основанный на солнечно-земных связях, есть объективная реальность. Люди планеты Земля будут иметь возможность планировать их жизнедеятельность, учитывая эту природную реальность в течение 25-го цикла солнечной активности.

Современный климат Земли, сформировавшийся в результате длительной истории ее развития, характеризуется колебаниями, выражающимися ритмическими потеплениями и похолоданиями, усыханиями и увлажнениями, однако в пределах одних и тех же типов климата (Борисов, 1975).

Следовательно, при прогнозировании изменений климатов в будущем следует учитывать следующие факторы.

1. Палеоклиматическое районирование той или другой территории изучения. Для территории Российской Федерации – это районирование климатов по А.А. Борису (1975).

2. Современное климатическое районирование Российской Федерации или любой другой территории Земли.

3. Палеогеографические особенности, присущие главным образом той или другой территории Земли.

4. Ведущие климатообразующие факторы – солнечные, вулканические, циркуляционные атмосферные, облачность, парниковые газы, другие факторы.

5. Характерные количественные показатели современного климата и основные показатели климата, реконструированные по результатам палеогеографических исследований конкретного района или региона.

6. Теплые и холодные зимы в прошлом и в настоящее время (последние 319 лет) – важнейшие сигналы информации об изменении окружающей среды Земли под влиянием солнечной активности.

7. Роль теплых и холодных зим для распространения пандемии вирусов COVID-19 и других вирусных заболеваний людей и животных на Земле.

Таким образом, только синтез солнечно-телескопических, палеогеографических и современных метеорологических данных позволит создавать долгопериодические глобального уровня прогнозы климата. Региональные и локальные прогнозы будут иметь при этом первостепенное значение для обществ любого региона Земли, в частности для экономики, социальных структур и жизни каждого конкретного человека

3.6 Стационарные полыньи и трещины в замерзающих морях планеты Земля: их роль для понимания изменений климата Земли

Арктика (от греч. *arcticos* – северный) – это северная полярная область Земли, включающая окраины материков Евразии и Северной Америки, почти весь Северный Ледовитый Океан с островами (кроме прибрежных островов Норвегии), а также прилегающие части Атлантического и Тихого Океанов. Южная граница Арктики совпадает с южной границей зоны тундр. Иногда Арктику ограничивают с юга северным полярным кругом ($66^{\circ}33'$ с.ш.). В современном международном праве закреплено разделение Арктики на пять секторов; основаниями этих секторов являются северные границы Российской Федерации (СССР), США, Канады, Дании (Гренландии) и Норвегии, боковыми их гранями являются соответствующие меридианы; вершиной – Северный полюс.

Площадь Арктического Океана достигает около 14 млн кв. км (Welsh et al., 1986; Serreze and Barry, 2005). Эта огромная площадь характеризуется покровом морских плавающих льдов. Морской лед с запасом энергии поверхности льдов и гидрологическим бюджетом контактирует непосредственно с атмосферой, с запасом (бюджетом) ее энергии. Покров морского льда Северного полушария, основная масса которого приходится на Арктический Океан, простирается от 15 млн кв. км в марте до 8 млн кв. км в сентябре. При этом наблюдается большая вариабельность от года к году. Среднее распространение льда для марта и сентября определяется как региональная концентрация. Покров морского льда – это не бесформенная плита; он состоит из характерных плит льда, варьирующихся от нескольких метров до многих километров. Лдины отчетливо разделены прямыми каналами, известными как разводья (leads), и разводьями неправильной формы, известными как полыньи (polynyas, термин русский).

Типично зимняя концентрация льда в центре Арктического Океана составляет 98–99% в сравнении с поздней летней концентрацией в 85–95%.

В течение зимы разводья быстро замерзают вновь, формируя покровы нового тонкого льда. Концентрация льда сокращается вблизи открытых границ океана. Покров морского льда находится в постоянном движении. Это обусловлено влиянием движения воздуха над верхней поверхностью морского льда, напором потоков воды океана на нижнюю поверхность льда, взаимодействием льдин и наклоном океана. Движение льда сильно меняется ежедневно главным образом с изменением направления ветра. Дивергентное движение льда приводит к сокращению концентрации льда, тогда как конвергентное движение концентрации льда увеличивает. Движение конвергентное может надвигать одну льдину на другую; этот процесс известен как рифтинг (Serreze and Barry, 2005: 19–23).

Последнее Ледниковье, особенно его максимум 18 тысяч лет назад, ознаменовалось прекращением притока теплых атлантических и тихоокеанских вод в Арктический океан. На западе это было связано с формированием северного полярного фронта в Северной Атлантике и поворотом течения Гольфстрим на 40° с.ш. к берегам Африки; на Востоке – с образованием Берингейского сухопутного моста между Чукоткой и Аляской. В эту эпоху покровные ледники распространялись на шельф лишь своими краями и только в западной Арктике, где они нередко продолжались в сторону моря в виде шельфовых (плавающих) ледников, как, например, у берегов Норвегии, Кольского полуострова, Шпицбергена, Новой Земли. Обширные пространства неосушенных, относительно глубоких западно-арктических морей были скованы многолетними паковыми льдами, которые вместе с шельфовыми ледниками создавали сплошной ледовый покров, под которым формировались так называемые ледниково-морские осадки.

Существенное послеледниковое потепление в Арктике произошло около 10–9 тысяч лет назад, когда в Баренцево море вернулся Гольфстрим. К этому времени уже произошло затопление суши в прибрежных частях восточно-арктических морей, и образовался Берингов пролив. Ко времени наступления климатического оптимума голоцена в Арктике сложилась природная обстановка типичного межледниковья с высоким уровнем моря (на

уровне современных отметок или даже несколько выше) и деградированным ледниковым покровом на поверхности морей. Сравнительно-литологические данные показали относительно теплые и менее ледовитые периоды в истории непрерывного морского осадконакопления, что имело место в западно-арктических морях, выделяются в разрезах донных осадков слоями с повышенным содержанием грубообломочного материала разносимого сезоннотающими припайными льдами (Павлидис, Ионин, Щербатов и др., 1998: 177).

Большинство современных климатологов, указывая на причины таяния льдов в полярных регионах Земли, пишут и говорят о влиянии глобального потепления климата, которое связывают с антропогенными выбросами парниковых газов. Внимательное рассмотрение этой проблемы опровергает это заключение. Потепление носит не глобальный, а региональный характер и сопровождается аномальными похолоданиями в смежных областях. Так, зимой 2000 года одновременно с аномальным потеплением Северного Ледовитого океана в Сибири свирепствовали небывалые морозы. Аномальное похолодание фиксировалось в это время и в ряде районов у южных оконечностей материков, окружающих Антарктиду (Сывороткин, 2009).

Здесь следует особо подчеркнуть, что эта остроактуальная проблема современности – таяние полярных льдов – не может быть понята без привлечения знаний о тектоническом строении полярных регионов и о происходящих в них геологических процессах.

Понять причины освобождения полярных акваторий ото льда в пространстве-времени позволяет анализ распространения заприпайных разводий, стационарных полыней и стационарных ледовых трещин, существующих в полярных ледовых ландшафтах Земли (Купецкий, 1997; 1988; Сывороткин, 1996, 2002, 2009; Serreze and Barry, 2005; Barry and Gun, 2011).

Разводья (leads and pressure ridges) – это линейно вытянутые участки воды среди льдов шириною от 10 м до нескольких километров и длиной до 10 км.

Стационарные полыньи (polynyas) – это участки незамерзающей воды в паковых льдах полярных районов Земли, возни-

кающие в тех же самых местах между двумя зимними сезонами; они могут достигать размеров от 10 кв. км до 1000 кв. км. Возле Азиатских берегов России известны следующие стационарные полыньи: к югу от Земли Франца-Иосифа в Баренцовом море; Ново-Земельская, Ямальская и Обь-Енисейская в Карском море; Восточно-Североземельская, Ленская и Новосибирская в море Лаптевых; Северо-охотская в Охотском море. В Антарктических морях стационарные полыньи известны в море Росса, море Уэдделла в Заливе Прюде. Есть незамерзающие участки в акватории северной части моря Баффина. Подробные процессы формирования этих природных феноменов приведены в работах Serreze and Barry (2005), Barry and Gan (2011).

Ледяные массивы, как одеяла, укрывают моря полярных районов Земли от солнечного воздействия, тогда как полыньи, разводья и стационарные трещины являются своеобразными «форточками» для всего живого на их дне. Полыньи – темные, они жадно ловят солнечное тепло, поэтому весной полыньи становятся центрами очищения моря. К концу лета, к осени, после того как все льды вытаивают, на месте полыней на поверхности моря остаются пятна теплых и соленых вод. Ледяные массивы – белые, они отражают солнечное тепло; на их месте к осени образуются пятна холодных, распресненных морских вод.

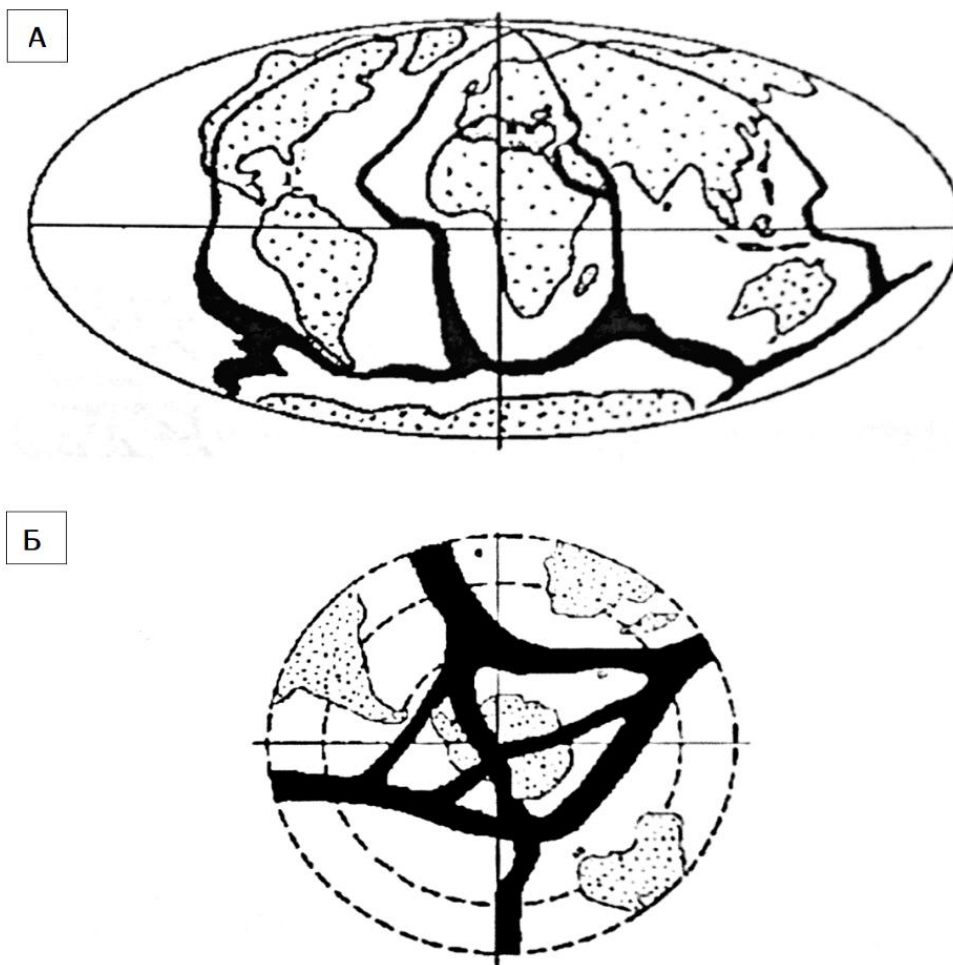
М. Serreze и R. Barry (2005), R. Barry и Th.Y. Gan (2011), обобщив имеющиеся обширные данные о разводьях, полыньях и стационарных трещинах, считают, что эти природные феномены обоих полушарий Земли являются результатом взаимодействия процессов воздушных и ледовых масс в замерзающих океанах либо штормовых ветров и действия процессов скрытой, латентной теплоты водных масс.

Согласно исследованиям В.Н. Купецкого (1998), в морской части криогенных зон под динамическим воздействием ветров формируются водно-ледовые ландшафты полыней и массивов. В биологическом плане ландшафты полыней представляют собой оазисы морей, а массивы – почти безжизненные пустыни. Ландшафты ледовых массивов предельно укрывают воду от атмосферы, усложняя судоходство; ландшафты полыней, являясь «форточками» морей, содействуют зимнему мореплаванию.

Прямолинейность разломов в морском льду всегда поражала людей. Об этом есть много свидетельств как первых землепроходцев, так и исследователей более поздних времен. Так, Умберто Нобиле (1984) при полете на дирижабле «Норвегия» через Ледовитый океан 11 Мая 1926 года отмечал, что в высоких широтах «каналы», прорезавшие лед, удивляли своей правильностью. Казалось, что их прямые, параллельные берега созданы искусственно. Приходилось удивляться в наше время и В.Н. Купецкому: 25 июня 1970 года, когда первый караван с востока проходил мыс Шмидта в Чукотском море, было обнаружено, что припай в бухте Восточной, в месте выгрузки, естественным образом взломался так, словно его специально вырубил ледокол (Купецкий, 1998).

По мнению Купецкого, *линейные трещины в неподвижных льдах в некоторых районах Арктики и Антарктиды являются непосредственным продолжением тектонических разломов в земной коре*. Весьма отчетливо это явление прослеживается и во льдах озера Байкал, где такого рода трещины называют становыми щелями. Такое же явление обнаружено у берегов северной Чукотки, где каждому поперечному тектоническому разлому соответствует своя поперечная трещина в припае. Весьма примечателен и крайне любопытен тот факт, что неоднократно приходилось видеть, как поперечная трещина в припае через неширокую прогалину с чистой водой трассируется затем в глубину ледяного массива в виде цепочки разводий. Главная особенность ледовых линеаментов заключается в том, что из года в год они наблюдаются в одном и том же месте, занимая здесь стационарное положение. Особенно четко это проявляется в неподвижных льдах, где встречаются стационарные трещины (Купецкий, 1988: 97).

Согласно гипотезе Сывороткина о полярных окончаниях основных стволов мировой рифтовой системы, Ямальская полынья расположена над Индо-Уральским стволом мировой рифтовой зоны, а Северо-Охотская и Новосибирская полыньи контролируются северной ветвью Западно-Тихоокеанского ее пояса (рис. 3.11).



Крапинки – материки; белое – океаны; черное – рифтовые зоны.

Рисунок 3.11 – А – Основные стволы Мировой рифтовой системы; Б – Южное полярное сочленение основных стволов Мировой рифтовой системы¹

В Антарктиде моря Росса, Уэдделла и залив Прюде также расположены на полярных продолжениях основных стволов мировой рифтовой системы. *Основным процессом, приводящим к таянию полярных льдов, являются выбросы глубинных газов через рифтовые зоны; эти зоны – главные каналы дегазации. Причем у процесса дегазации есть два тепляющих фактора. Первый – разрушение озонового слоя глубинным водородом, в результате чего к земной поверхности приходит избыточный поток солнечной энергии. Второй – комплексный, связан с прохождением глубинных газов через морскую воду* (Сывороткин, 2009: 215).

¹ Сывороткин, Подгорнова, 2009.

В некоторых местах Арктики и Антарктиды стационарные трещины в неподвижных льдах являются продолжением тектонических разломов в земной коре. В эти трещины может проваливаться наземный транспорт. Именно по таким трещинам ледоколам легче прокладывать каналы для судов или полностью откалывать припай. У берегов северной Чукотки каждому поперечному тектоническому разлому соответствует своя поперечная трещина в набивном торосистом припае. В Чукотском море стационарная трещина тянется через припай от мыса Оман на северо-восток. По этому направлению в летнее время в дрейфующем массиве наблюдается навигационный разрыв, используемый для проводки судов (Купецкий, 1977; 1988).

Новые данные, полученные в период проведения Международного полярного года (МПГ) (2007–2008 гг.), значительно расширили знания о геотермии Арктического бассейна (Родников и др., 2009; Сывороткин, 2009; Сывороткин, Подгорнова, 2009; Хуторской, Подгорных, Леонов и др., 2009; Шварцман, 2009; Ямпольский, 2009). Геотермические данные являются одним из важнейших источников информации о тектонике и геодинамике Арктического региона. Тепловые потоки изучались в Западно-Арктическом и Амеразийском бассейнах (Хуторской и др., 2009). Авторы проводили измерения теплового потока с помощью новой модификации известной и апробированной серии геотермических зондов «ГЕОС» – зондом «ГЕОС-М». Этот зонд предназначен для автоматического высокоточного измерения температуры донных осадков, градиента температур, теплопроводности осадков, гидростатического давления (глубины), температуры воды, угла внедрения зонда в осадки (угла отклонения зонда от вертикали) и определения на основе полученных данных глубинного теплового потока Земли. Было получено два высоких значения теплового потока (88 и 97 мВт/м²) по линии северного – северо-восточного простирания, относящейся к проливу Франц-Виктория, а также пониженного значения теплового потока (30–35 мВт/м²) западнее этой предполагаемой линии. На полигоне «Шпицберген» в желобе Орла, который простирается от Земли Короля Карла на юге до подножия континентального склона Котловины Нансена на севере, было выполнено 20 измерений тепло-

вого потока. Он составлял от 300 до 520 мВт/м², что почти в 10 раз выше уровня фонового теплового потока в Баренцевом море. Морфология Трога Орла и полученные впервые для этой структуры геотермические данные показали, что желоб имеет тектоническую природу. Скорее всего, этот рифт затрагивает здесь земную кору на всю ее мощность и находится сейчас в активной фазе развития (Хуторской и др., 2009: 277; Ямпольский, 2009).

В глубоководной зоне Северного Ледовитого океана значениями теплового потока до 300 мВт/м² и более характеризуют рифтовые структуры срединно-океанических хребтов Мона, Книповича и Геккеля. Высокие, более 70 мВт/м², тепловые потоки установлены почти на всей площади шельфа Баренцева моря при геотермических градиентах 25–40°С/км. Значения теплового потока достигают 100 Вт/м² в Южно-Баренцевоморской впадине, где развита земная кора океанического типа. Снижение напряженности теплового потока, прослеживаемое от срединно-океанических хребтов Мона, Книповича и Геккеля до Баренцева моря и далее к континенту, очевидно, отражает ход новейшего процесса активизации литосферы и вовлечение в него все более удаленных от этих хребтов территорий. При этом на севере Мезенской синеклизы фиксируются самые начальные в геологическом масштабе времени проявления этого процесса (Шварцман, 2009).

Все вышеприведенные и многие другие данные, характеризующие геотермический режим и тектонику Европейского сектора Арктики, а также структуру рельефа исследованных акваторий, имеют исключительно важное теоретическое и практическое значение.

Во-первых, эти данные являются несомненным доказательством того, что наблюдающееся в настоящее время увеличение водных площадей в полярных ландшафтах Земли, в особенности в Северном Ледовитом океане, является следствием не только современного состояния потепления климата, но и следствием тектонического строения Земли в этих регионах.

Во-вторых, установлено, что тектонические процессы в этих регионах в настоящее время активизируются, вызывая образование новых разломов и трещин в земной коре, через которые идет

приток тепла и различного рода газов в океанические акватории. Это оказывает влияние как на температурный режим стационарных полыней, стационарных ледяных трещин и разводий, так и на жизнь населяющих их организмов.

В-третьих, в свете имеющихся детальных климатических характеристик разводий, полыней и ледовых трещин, приведенных в работах многих исследователей (Serreze and Barry, 2005; Barry and Gan, 2011), а также в свете приведенных выше новых данных о тепловых потоках в Северном Ледовитом океане в настоящее время следует переоценить причины, обуславливающие эти природные феномены, с тем чтобы получить объективную оценку современного состояния климата в полярных регионах Земли. Современный период – это последние 12–11 тысяч лет, то есть то время, в котором мы живем. *Все приведенные выше данные свидетельствуют о том, что современный климат полярных регионов Земли обусловлен не только взаимодействием воздушных и ледовых масс морей, штормовых ветров и процессов скрытой, латентной теплоты водных масс подо льдами, но и тектоническим строением Земли.* Земля «дышит» и в полярных регионах; ее «дыхание» происходит через разломы, трещины в рифтовых зонах земной коры океанов. На поверхности ледовых ландшафтов полярных регионов это «дыхание» проявляется в виде ледовых трещин как в зимний, так и в летний сезоны. Эти природные феномены позволяют объективно понять причины и масштабы локального освобождения полярных акваторий Земли ото льда в весенне-осенние и зимние сезоны и объяснить объективно проблему современного состояния климата Арктики и Антарктиды.

Стационарные трещины и полыни уже давно используются и должны использоваться более интенсивно для практического судовождения в суровых условиях Арктики и Антарктиды.

Мировому сообществу следует понять, что Арктика и Антарктида должны стать заповедными регионами планеты Земля. Эти регионы – центры формирования климата и погод Земли нашей, и они должны быть центрами научных исследований международным сообществом климата и погоды.

Цели будущих исследований климата Арктики нельзя сформулировать лучше, чем это сделали M. Serreze R. & Barry (2005). Мы полностью солидарны с их заключением.

«С тем чтобы лучше понять курс будущего изменения климатической системы Арктики, необходимо улучшать модели, но также важно желание сломать традиционные дисциплинарные барьеры и шире развивать системно-ориентированный подход. Арктика – есть дом мириад взаимодействий климата и связей, которые обусловлены атмосферой, землей, океаном и криосферой, которые, в свою очередь, тонко связаны с глобальной системой климата Земли. Но, кажется, чем больше мы познаем, как функционирует система климата Арктики, тем больше вопросов возникает. Именно здесь лежит наша заинтересованность в изучении системы климата Арктики» (Serreze and Barry, 2005: 334).

ГЛАВА 4 ВЫБРОСЫ ПАРНИКОВЫХ ГАЗОВ КАК ОСНОВНОЙ ФАКТОР АНТРОПОГЕННЫХ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА В СОВРЕМЕННУЮ ЭПОХУ

4.1 Выбросы парниковых газов: источники и последствия

В своей статье «Как климат Земли меняется естественным образом (и почему сейчас все по-другому)», опубликованной в 2020 году, геолог и популяризатор науки Говард Ли выделил десять естественных причин, приводящих к климатическим изменениям (табл. 4.1): солнечные циклы, вулканическая сера, краткосрочные климатические колебания, орбитальные колебания, смещение тектонических плит, слабое молодое солнце, влияние астероидов, эволюционные изменения, выделения углекислого газа и термостат выветривания, крупные магматические провинции (траппы)¹.

Таблица 4.1 – Причины климатических изменений, по Г. Ли (2020)

Причины изменений	Воздействие	Связанные изменения температуры	Период действия
Солнечные циклы	Крупные солнечные минимумы (периоды низкой солнечной активности) длятся десятилетиями и происходили 25 раз за последние 11 000 лет. Совпадают с периодами понижения средних глобальных температур	0,1–0,3°C в сторону охлаждения	Периоды спада солнечной активности 30–160 лет, разделенные столетиями
Вулканическая сера	При извержении вулканов в стратосферу выбрасываются капли серной кислоты, которые отражают солнечный свет обратно в космос, охлаждая климат	Приблизительно 0,6–2°C в сторону охлаждения	1–20 лет

¹ Крупные магматические провинции – это проявления магматизма на континентальных и океанических платформах. Магматическая провинция считается крупной, если она занимает площадь более 1 млн кв. км и (или) если ее объем достигает более 500 тысяч куб. км.

Причины изменений	Воздействие	Связанные изменения температуры	Период действия
Краткосрочные климатические колебания	Краткосрочные циклы, влияющие на количество осадков и температуру. Причины таких изменений могут быть как естественного, так и антропогенного характера	До 0,15°C	2–7 лет
Орбитальные колебания	Циклические колебания орбиты Земли при изменении положения Солнца, Луны и других планет вызывают колебания количества солнечного света в средних широтах, чем объясняется сверхдлительное естественное изменение климата (циклы Миланковича)	Приблизительно 6°C за последний 100 000-летний цикл; изменяется в течение геологического времени	Регулярные перекрывающиеся циклы в 23 000, 41 000, 100 000, 405 000 и 2 400 000 лет
Слабое молодое солнце	Солнце становится ярче в среднем на 0,009% за млн лет. Однако земной термостат выветривания противодействует воздействию лишнего солнечного света, стабилизируя тем самым температуру Земли	Нет температурного эффекта	Постоянно
Углекислый газ и термостат выветривания	Химические реакции с силикатными минералами удаляют углекислый газ: в теплом климате растворенный в дождевой воде CO ₂ вступает в реакцию с кальцием в силикатных породах и вымывается в море, оседаясь на дно в виде известняка (это и есть термостат выветривания). Однако чтобы отреагировать на изменения концентрации углекислого газа, термостату требуются сотни тысяч лет	Противодействует другим изменениям	100 000 лет и дольше
Смещение тектонических плит	Столкновение тектонических плит приводит к выбросам химически активных пород (включая вулканический пепел), что способствует увеличению скорости реакций, поглощающих углекислый газ, и понижению средней глобальной температуры	Около 30°C за последние 500 млн лет	Миллионы лет

Причины изменений	Воздействие	Связанные изменения температуры	Период действия
Влияние астероидов	Ни один из астероидов не оказал заметного влияния на климат Земли, кроме астероида Чикшулуб, который испарил часть нынешней Мексики и привел к длительным климатическим изменениям и крупнейшим массовым вымираниям в биосфере Земли	Приблизительно 20°C в сторону похолодания с последующим потеплением на 5°C (кратер Чикшулуб, п-ов Юкатан, Мексика)	Столетия похолодания, 100 000 лет потепления (кратер Чикшулуб, п-ов Юкатан, Мексика)
Эволюционные изменения	Эволюция новых видов жизни привела к тому, что организмы и растения, выделяющие кислород, начали «экспортировать» углерод из атмосферы и «закапывать» его. Эволюция деревьев (в сочетании с горообразованием и другими факторами) привела к дальнейшему сокращению выбросов CO ₂ и, как следствие, к палеозойскому ледниковому периоду	Похолодание примерно на 5°C 445 млн лет назад	Миллионы лет
Крупные магматические провинции	Существование крупных магматических провинций привело ко многим массовым вымираниям на Земле. Следствия: кислотные дожди и туманы, отравления ртутью, разрушение озонового слоя, длительное повышение среднегодовой температуры за счет значительных выбросов метана и углекислого газа	Около 3–6°C потепления	Сотни тысяч лет

Важно отметить, что указанные в таблице 4.1 факторы климатических изменений носят естественный и зачастую циклический характер. Связанные со значительными объемами выбросов углекислого газа и метана, а также необратимыми эволюционными изменениями биосферы природные явления приводят к долгосрочным погодно-климатическим эффектам.

Естественный парниковый эффект (рис. 4.1), который создается незначительным количеством водяного пара, оксида азота, метана и двуокиси углерода, является залогом жизни на планете, так как обеспечивает комфортную среднюю приземную температуру для жизни.



Рисунок 4.1 – Механизм парникового эффекта¹

Однако именно активная деятельность человека создает *усиленный* парниковый эффект, который и называют глобальным потеплением. Заметим, что здесь речь идет не только о промышленном производстве, в ходе которого сжигаются огромные объемы ископаемого топлива, но и о любой бытовой деятельности человека, связанной с выделением тепла (например, приготовление пищи, сжигание мусора и т.д.). В результате концентрация парниковых газов в нижних слоях атмосферы возрастает настолько, что поглощающей способности экосистем оказывается недостаточно.

В настоящее время основными источниками антропогенных выбросов парниковых газов считаются (Киотский протокол, 1998):

- 1) энергетика, включая непосредственное сжигание топлива и утечки при добыче и транспортировке топлива;
- 2) промышленные процессы, в первую очередь в горнодобывающей промышленности, химической промышленности, металлургии, а также производство и потребление галогенированных углеродных соединений и гексафторида серы;

¹ Грицевич и др., 2007.

- 3) использование растворителей и других продуктов;
- 4) сельское хозяйство, в том числе интестинальная ферментация, уборка, хранение и использование навоза, производство риса, управляемый пал саванн и др.;
- 5) отходы (удаление твердых отходов в грунте, обработка сточных вод, сжигание отходов).

Сжигание ископаемого топлива в производственной и энергетической деятельности, а также в быту создает наибольшие объемы выбросов углекислого газа и метана. Значительные объемы этих газов выбрасываются в атмосферу в результате крупных лесных пожаров. Так, ученые ФИЦ «Красноярский научный центр СО РАН» совместно с зарубежными коллегами провели ряд экспериментов по моделированию поведения пожаров и 14-летний мониторинг их воздействия на состояние леса Нижнего Приангарья; обобщены результаты 30-летних исследований пожаров в хвойных лесах юга Сибири (Наука в Сибири от 03.10.2022). В частности, отмечается, что в период 2014–2020 годов на территории Нижнего Приангарья было зарегистрировано 3820 лесных пожаров, в результате которых было повреждено более 890 тысяч гектаров лесных насаждений, а на территории всего Красноярского края – 11 тысяч лесных пожаров на площади 5327 тысяч гектаров (Иванов и др., 2021).

Проведя расчеты, ученые установили, что величина эмиссии вредных веществ от лесных пожаров в Нижнем Приангарье за период 2014–2020 годов варьировалась от 326 до 9339 тысяч гектаров и составила в общей сумме около 27 751 тысячи тонн. Для сравнения: объем выбросов парниковых газов промышленного гиганта ПАО «ГМК «Норильский никель»» только в 2020 году составил 9700 тысяч тонн (Стратегия в области изменения климата...)!

К основным парниковым газам, поступающим в атмосферу в результате активной деятельности человека, принято относить: диоксид (двуокись) углерода / углекислый газ (CO_2), метан (CH_4), оксид азота (N_2O), фторированные газы (гексафторид серы (SF_6), гидрохлорфторуглероды (ГХФУ), перфторуглероды (ПФУ)) (табл. 4.2).

Таблица 4.2 – Сравнительная характеристика парниковых газов

Типы парниковых газов	Происхождение	Срок нахождения в атмосфере, лет	Потенциал глобального потепления¹
Диоксид углерода (углекислый газ)	Естественное происхождение (разложение органических веществ, извержение вулканов); промышленность и транспорт	5–200 лет	20 лет – 1 100 лет – 1 500 лет – 1
Метан	Энергетика (сжигание ископаемого топлива, добыча нефти), отходы, сельское хозяйство, болота, горение биомассы	9–15 лет	20 лет – 72 100 лет – 25 500 лет – 7,6
Оксид азота	Энергетика и промышленность (сжигание ископаемого топлива и твердых отходов), сельское хозяйство, транспорт, бытовая деятельность (приготовление пищи и обогрев жилища), запуски ракет	около 120 лет	20 лет – 289 100 лет – 298 500 лет – 153
Фторированные газы ²	Промышленность (производство хладагентов, аэрозолей, средств пожаротушения)	260–50 000	20 лет – 3800–16 300 100 лет – 1400–22 800 500 лет – 430–32 600

Являющийся результатом выбросов от работы автомобильных двигателей тропосферный озон (O₃) также относится к числу парниковых газов.

В структуре антропогенных выбросов парниковых газов по очевидным причинам преобладают углекислый газ и метан (рис. 4.2). Выбросы парниковых газов не только являются вероятной причиной изменения климата на планете, но и способствуют распространению респираторных, сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний у населения. Кроме того, они представляют угрозу продовольственной безопасности и, как следствие, приводят к проблемам со здоровьем населения (и детей в первую очередь). Это обуславливает тот факт, что условия жизнедеятельности наиболее уязвимых групп населения становятся еще более неустойчивыми.

¹ Потенциал глобального потепления (ПГП) – это коэффициент, определяющий степень воздействия отдельных парниковых газов (каждой тонны газа, выбрасываемой в атмосферу) на глобальное потепление и оцениваемый на горизонте 20 и 100 лет в сравнении с влиянием углекислого газа того же объема, рассматриваемого как эталон (ПГП углекислого газа принимается за 1).

² ПГП и срок нахождения в атмосфере фторированных газов приведен в широком диапазоне и зависит от конкретного вида газа.

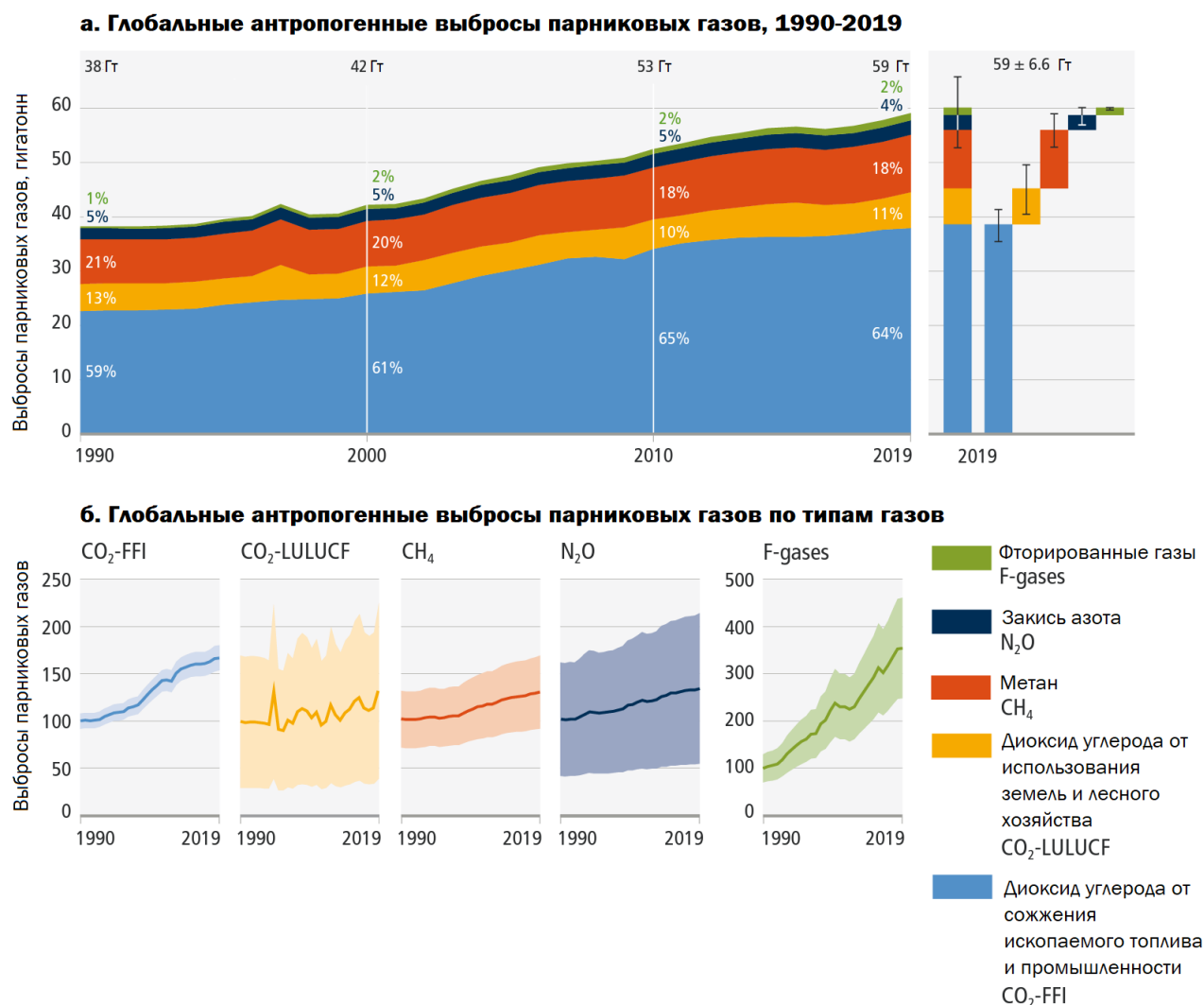
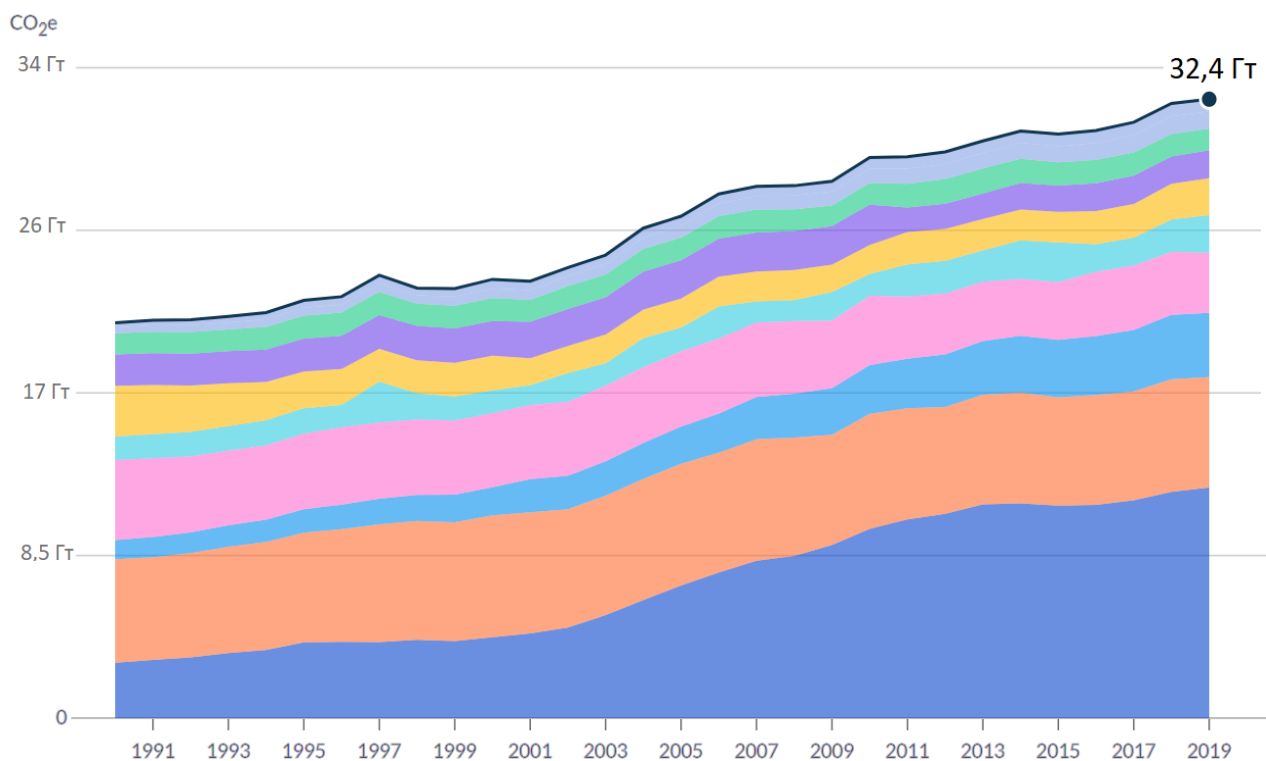


Рисунок 4.2 – Динамика и структура антропогенных выбросов парниковых газов (по типам газов), 1990–2019¹

Среди стран мира основными загрязнителями являются Китай, США, Индия и страны Европейского союза (ЕС27) (рис. 4.3). Россия находится на 6-м месте по объемам выбросов парниковых газов. Тем не менее развитые и развивающиеся страны озвучили свои цели по сокращению выбросов парниковых газов к 2050 году: страны Европейского союза, Россия, Китай, Япония, страны Южной Америки и многие другие присоединились к движению по достижению углеродной нейтральности. В действительности эти намерения являются существенным, но недостаточным шагом по предотвращению опасного повышения температуры.

¹ IPCC, 2022.



2019

● Китай	12,06 Гт	● Россия	1,92 Гт
● США	5,77 Гт	● Бразилия	1,45 Гт
● Индия	3,36 Гт	● Япония	1,13 Гт
● Европейский союз (ЕС27)	3,15 Гт	● Иран	893,78 Мт
● Индонезия	1,96 Гт	● Южная Корея	652,66 Мт

Рисунок 4.3 – Самые крупные эмитенты парниковых газов среди стран, 1990–2019¹

Известны примеры самых загрязненных городов мира: Аккра (Гана), Дакка (Бангладеш), Линьфэнь (Китай) (рис. 4.4), Бивади (Индия) и др. Каждый из них представляет собой плотную концентрацию промышленных производств в отраслях, для которых характерны значительные объемы выбросов вредных отравляющих веществ и парниковых газов (производство и распределение тепла, горячей воды и электроэнергии, металлургия, химическая промышленность, нефтехимия и др.). В России к числу самых загрязненных городов относят Норильск (рис. 4.5А), Карабаш (Челябинская область) (рис. 4.5Б), Магнитогорск (рис. 4.5В), Новокузнецк (рис. 4.5Г) и др.

¹ Climate Watch.



Рисунок 4.4 – Линьфэнь (Китай) – один из самых экологически грязных городов мира¹



**Рисунок 4.5 – Самые загрязненные города России²:
А – Норильск, Б – Карабаш, В – Магнитогорск,
Г – Новокузнецк**

¹ Фотография доступна по ссылке: <https://musorniy.ru/wp-content/uploads/2018/12/linfen.jpg> (дата обращения: 11.12.2022).

² Фотографии доступны по ссылкам: Норильск: https://avatars.dzeninfra.ru/get-zen_doc/3665883/pub_5ef216c9126e470fc1f2bf27_5ef218a4f8d38d0cdc3463cb/scale_2400; Карабаш: https://s0.tchkcndn.com/g-i7wxxFkSU_v5Z1L_pUp2X-Q/17/188574/1200x630/f/0/karabash_30.jpg; Магнитогорск: https://vecherka74.ru/uploads/posts/2016-08/thumbs/1470207849_mmk.jpg; Новокузнецк: https://cdn.iportal.ru/news/2021/99/preview/0103675e4f2701940db5d8efae17d1ec190002ed1_1590_1060_c.jpg. webp-portal (дата обращения 11.12.2022).

Неблагоприятная экологическая обстановка в указанных населенных пунктах связана непосредственно с деятельностью крупнейших промышленных предприятий в стране в металлургии и добыче полезных ископаемых (угля, кокса и черных и цветных металлов): ПАО «ГМК «Норильский никель»», АО «Русская медная компания», ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», ОАО «Евраз» и многие другие. Важно заметить, что эти предприятия в настоящее время реализуют активную природоохранную и восстановительную деятельность, тем не менее территории их размещения по-прежнему входят в многочисленные рейтинги самых загрязненных городов страны и мира.

По оценкам экспертов ООН, несмотря на значительное сокращение выбросов парниковых газов в 2020 году на 5,4% (рис. 4.6) в результате установления жестких ограничений по предотвращению распространения коронавирусной инфекции в ряде стран мира (включая запреты на перемещения, авиасообщение и деятельность отдельных организаций и предприятий), общая динамика показателя не позволит в конечном итоге достичь целевого уровня к 2030 и к 2050 году и с высокой вероятностью приведет к росту температуры не на 2°C, а минимум на 2,8°C (Emissions Gap Report, 2022).

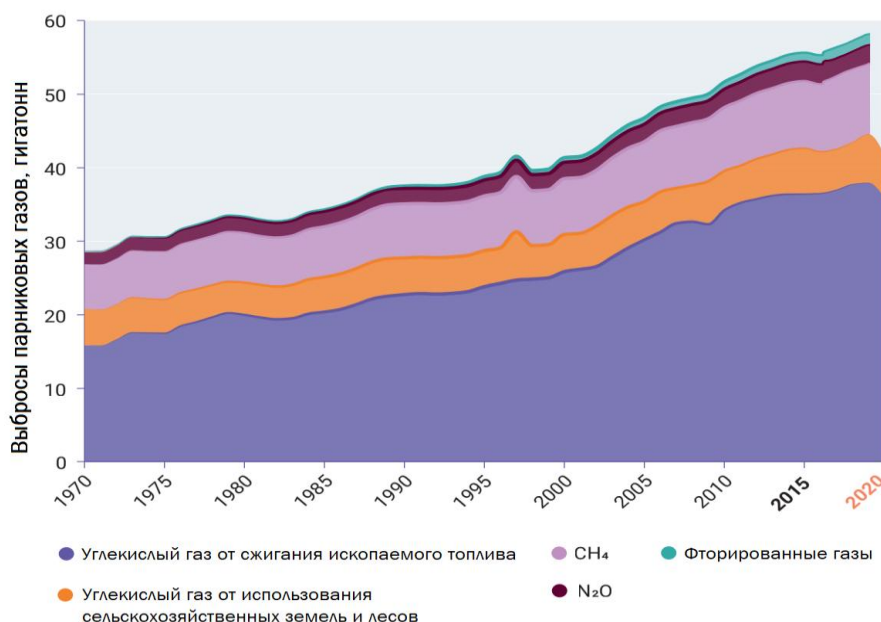


Рисунок 4.6 – Динамика выбросов парниковых газов, 1970–2020 гг.¹

¹ Emissions Gap Report, 2021. Данные за 2020 г. приведены только по выбросам углекислого газа.

Рост среднегодовой глобальной температуры даже на 2°С является серьезным вызовом обществу. Увеличение среднегодовой глобальной температуры даже на 0,5°С означает, что льды Северного Ледовитого океана будут полностью таять раз в столетие, тогда как рост температуры на 2°С приведет к полному таянию льдов раз в десятилетие (Повышение температуры еще на полградуса...., ООН, 2018).

Согласно Пятому докладу (2014) МГЭИК¹, к наблюдаемым климатическим изменениям можно отнести:

- рост температуры у поверхности Земли по сравнению с любым другим десятилетием, начиная с 1850 года;
- потепление верхнего слоя океана (0–700 м);
- сокращение ледников и площади снежного покрова в весенний период в Северном полушарии;
- повышение среднего глобального уровня моря на 0,19 м в период 1901–2010 годов и др.

Данные изменения, по оценкам экспертов, с высокой степенью вероятности вызваны выбросами парниковых газов, объемы которых продолжают увеличиваться. Подобные изменения не только изменяют, но и приводят к полному разрушению экосистем.

Другим важным следствием является угроза продовольственной безопасности и ухудшение качества жизни населения, включая появление многочисленных проблем с питанием и здоровьем. Положение уязвимых групп населения становится еще более неустойчивым, как отмечалось выше.

Отдельно стоит заметить, что и глобальное достижение целей устойчивого развития также оказывается под угрозой: обостряются проблемы нищеты и голода, здравоохранения, образования, социальной защиты, обеспечения гендерного равенства, сохранения экосистем, сохранения мира.

¹ МГЭИК – Межправительственная группа экспертов по изменению климата (IPCC), созданная для оценки состояния научного, технического, социально-экономического знания об изменении климата, его причинах, потенциальных последствиях и стратегиях реагирования. URL: <https://www.ipcc.ch/languages-2/russian>.

4.2 Современные научные прогнозы климатических изменений

Интерес к метеорологическим явлениям возник у человека еще в древности. Предсказаниями погоды занимались жрецы, шаманы, астрологи, которые просили помощи у высших сил, а также первые ученые, использовавшие в качестве основного инструмента прогнозирования народные приметы.

С развитием науки, в частности благодаря достижениям и открытиям в физике и астрономии XVI–XVII веков, метеорологические исследования выходят на новый уровень: Леонардо да Винчи (1452–1519) изобрел гигрометр, Галилео Галилей (1564–1642) усовершенствовал термоскоп, а Гаспаро Берти (1600–1643) и Эванджелиста Торричелли (1608–1647) сконструировали барометр. Около 1640 года ученые Флорентийской Академии дель Чименто установили в Тоскане первую сеть станций наблюдения за погодой, использовав для каждой из них одинаковые термометры (Амманн, 2009).

Исследования атмосферной циркуляции и ее связи с вращением Земли Джорджа Гадлея (Хэдли) (1685–1768), Гаспара Гюстава де Кориолиса (1792–1843), Уильяма Феррела (1817–1891), Карла Густава Россби (1898–1957) параллельно с достижениями физики, химии, астрономии постепенно привели к формированию идеи энергетического баланса Земли (Эволюция науки о климате...).

В работе 1824 года известный математик Жан-Батист Фурье (1768–1830) впервые сформулировал идею парникового эффекта, создаваемого земной атмосферой, однако в тот период времени он еще не знал, какие именно газы в составе атмосферы поглощают инфракрасное излучение (сам Фурье называл его «невидимым теплом») (Шрайбер, 2013). В продолжение исследований Фурье в 1859 году Джон Тиндаль (1820–1893) показал, что некоторые газы (в частности, водяной пар и углекислый газ) способны поглощать инфракрасное излучение.

Тем не менее в указанных исследованиях речь идет лишь о естественных изменениях концентрации углекислого газа. Однако у Арвида Хегбома (1857–1940), геолога и коллеги Аррениуса,

появилась идея оценить объемы выбросов углекислого газа от сжигания ископаемого топлива промышленными предприятиями. Расчеты Аррениуса показали, что увеличение концентрации углекислого газа в 2 раза приведет к росту температуры нижнего слоя атмосферы Земли на 4–5°C, однако ученый полагал, что подобные изменения будут иметь длительный характер и фактически займут около 3000 лет.

В дальнейшем исследователи предлагали более экстравагантные концепции. В частности, шведский метеоролог Нильс Экхольм (1848–1923) предложил идею, согласно которой, изменяя количество сжигаемого ископаемого топлива и регулируя рост растений, человечество сможет целенаправленно влиять на климат и устанавливать желательный температурный режим. Экхольм также предложил и сам термин «парниковый эффект».

В начале XX века шведский физико-химик Сванте Аррениус (1859–1927), лауреат Нобелевской премии по химии 1903 г., создал стационарную модель (Земля и атмосфера) для расчетов вариации температуры Земли на различных широтах при вариации содержания углекислоты в атмосфере. Исследования Тиндаля и Аррениуса были инициированы научным спором о том, может ли изменение состава атмосферы стать причиной для образования или таяния льдов (Шрайбер, 2013).

В 1930-е годы Гай Стюарт Каллендер (1898–1964) показал, что содержание углекислого газа в атмосфере с 1900 по 1936 год значительно повысилось, фактически на 6%, и по сути эта разница близка к количеству углекислого газа, выделившегося при сгорании ископаемого топлива за тот период времени.

Одновременно с метеорологами и физиками в XIX веке интерес к проблеме климатических изменений возник и у геологов. Так, в 1837 году зоолог Луи Агассис (1807–1873), занимавшийся ископаемыми рыбами, представил доказательства широкого распространения льда в прошлом, а в 1840 году опубликовал работу «Изучение ледников», в которой доказывал, что альпийские ледники в прошлом имели более значительные размеры (Петрович, 2011).

Для геологов XIX века причины ледникового периода определялись в рамках автономной климатической системы «океан –

материк – лед – атмосфера». Лишь в 1886 году Чарльз Лайель (1797–1875) согласился с возможностью, хотя, по его мнению, маловероятной, астрономического влияния на изменения климата.

На этом фоне множились гипотезы геологов, математиков, философов, физиков и астрономов, часть из которых так и не нашли научного подтверждения. Так, в 1842 году французский математик Альфонс Жозеф Адемар (1797–1862) опубликовал работу «Возмущение моря, или Периодичность всемирных потоков» и тем самым первым предложил модель космического влияния на климат. Теория опиралась на ложные гипотезы и содержала ошибочные заключения, а сам Адемар искал библейский потоп, однако его астрономическая теория климатических изменений продолжила существовать и стала отправной точкой для теории ледниковых эпох.

Астрономическая теория Адемара не была поддержана научным сообществом, однако Милутин Миланкович (1879–1958) показал, что причины провала теории крылись не в ошибочности гипотез, а в некорректных расчетах и отсутствии достаточных знаний небесной механики. Проработав математический и методологический инструментарий, Миланкович получил надежные расчеты.

Миланкович связал колебания земной орбиты и наклон оси вращения планеты к эклиптике с изменением поступающего солнечного излучения с долговременными изменениями климата. Таким образом, было показано, что оледенения наступали каждые 100 000 лет в течение последнего миллиона лет существования планеты (Абдусаматов, 2019).

Как отмечает А. Петрович, канон притока солнечной радиации (канон инсоляции) Милутина Миланковича – это единственная теория, имеющая геологическое подтверждение и дающая возможность реконструкции событий прошлого и прогнозирования будущих изменений климата (Петрович, 2011).

В предыдущей главе нами обоснован вывод о том, что ведущие климатообразующие факторы – солнечные, вулканические, циркуляционные атмосферные, облачность, парниковые газы, другие факторы. Только синтез солнечно-телескопических, палеографических и современных метеорологических данных по-

зволит создавать долгопериодические глобального уровня прогнозы климата.

Во второй половине XX века возникает повышенный интерес к проблеме антропогенного усиления парникового эффекта.

Исследования Суюкуро Манабе, впоследствии получившего Нобелевскую премию по физике, наглядно показали, что повышение уровня углекислого газа в атмосфере приводит к пропорциональному повышению температуры на поверхности Земли, что вполне соответствует наблюдаемому тренду.

Климатическая модель Манабе (рис. 4.7) стала одной из первых моделей глобальных климатических изменений.

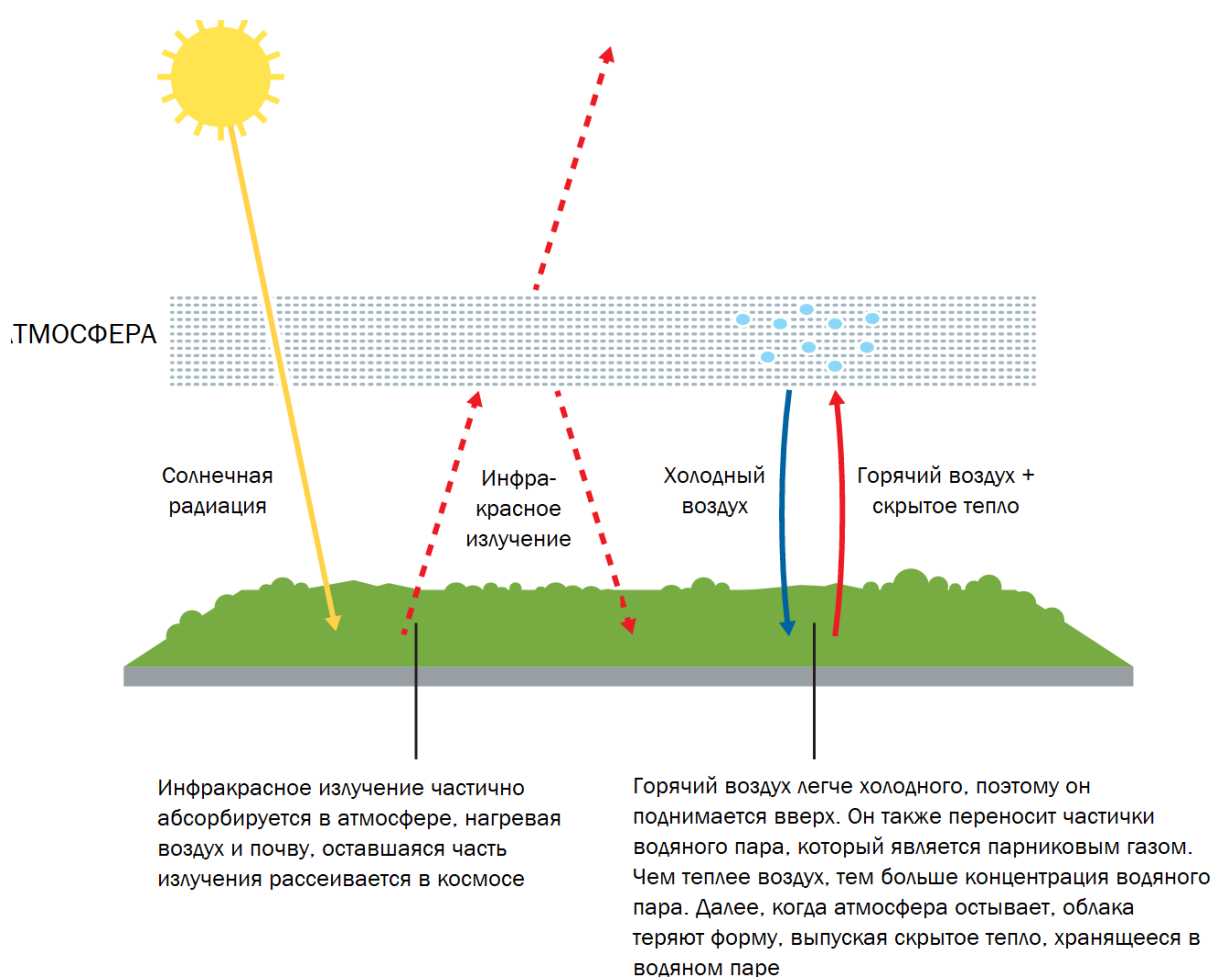


Рисунок 4.7 – Климатическая модель С. Манабе¹

Представленная модель связывает в единое целое радиационный баланс, вертикальный перенос воздушных масс посредст-

¹ Королевская шведская академия наук, 2021.

вом конвекции, а также учитывает тепло, переносимое частицами водяного пара. Симуляционная модель Манабе продемонстрировала, что выбросы углекислого газа будут удерживать тепловую энергию в нижних слоях атмосферы, что тем самым приведет к нагреванию поверхности Земли и верхних слоев океана, в то время как верхние слои атмосферы будут охлаждаться и сжиматься.

Ученым, разделившим Нобелевскую премию по физике с С. Манабе, стал Клаус Хассельман. На базе расчетов Манабе он создал собственную модель, связавшую погодные и климатические изменения. В своих работах он дал подробное объяснение парниковому эффекту. Хассельман показал, что именно человеческая деятельность приводит к значительным объемам выбросов парниковых газов и аэрозолей, и разработал процедуру поиска их отпечатков.

Здесь важно, чтобы климатические модели сочетались с экономическими расчетами и моделями. Однако в действительности оценки экономистов будущих затрат от выбросов парниковых газов сильно разнятся.

Нобелевская премия 2021 года по физике, лауреатами которой стали Сюкуро Манабе и Клаус Хассельман («за физическое моделирование климата Земли, количественный анализ вариаций и надежный прогноз глобального потепления»), имеет важное значение для будущего наук, изучающих климатические изменения. Заметим, что, несмотря на обеспокоенность общественности климатическими изменениями, многие ученые и политики достаточно скептически относятся к этой проблеме, приравнивая ее к очередной теории заговора или полагая, что у сторонников теории отсутствуют достаточные эмпирические доказательства. Именно поэтому признание Нобелевским комитетом заслуг С. Манабе и К. Хассельмана есть политическое признание проблемы изменения климата.

4.3 Международное климатическое сотрудничество и регулирование

В 2020 году ООН отмечала 35 лет защиты озонового слоя: в 1985 году была принята и подписана 28 странами Венская конвенция об охране озонового слоя. Проводимые в тот период времени научные исследования доказали, что галоидоуглеводороды представляются чрезвычайно опасными для озонового слоя Земли. Важно отметить, что выбросы этих веществ являются или могут являться результатами активной человеческой деятельности.

В дополнении к Венской конвенции в 1987 году был принят Монреальский протокол по веществам, разрушающим озоновый слой, определяющий перечень регулируемых веществ (ХФУ-11, ХФУ-12, ХФУ-113, ХФУ-114, ХФУ-115, галон-1211, галон-1301, галон-2402), в 2016 году – Кигалийская поправка к нему, дополнившая перечень опасных веществ гидрофторуглеродами (ГФУ).

Очевидным результатом всеобщей ратификации Венской конвенции и Монреальского протокола стало реальное (доказанное многочисленными исследованиями) сокращение выбросов фторсодержащих парниковых газов, разрушающих озоновый слой (Ozone Program).

В 1988 году в целях предоставления объективных научных данных об изменениях климата при содействии Организации Объединенных Наций была создана Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК, IPCC), которая опубликовала 5 комплексных оценочных докладов (за 1990, 1995, 2001, 2007, 2014 гг.). Шестой доклад должен был быть опубликован в 2021–2022 годах, однако, очевидно, что по целому ряду причин его выпуск перенесен как минимум на 2023–2024 годы.

Следующим важным шагом в развитии международного климатического сотрудничества стало подписание на Конференции ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро в 1992 году и постепенная ратификация Рамочной конвенции ООН об изменении климата (РКИК ООН). В дополнение к РКИК ООН были подписаны Киотский протокол и Парижское соглашение.

Киотский протокол (1998) устанавливал перечень основных парниковых газов (углекислый газ, метан, оксиды азота, гексаф-

торид серы, гидрохлорфторуглероды, перфторуглероды) и основных источников выбросов, среди которых: энергетика, промышленность, сельское и лесное хозяйство, отходы и производство растворителей и аэрозолей.

Для активизации международных усилий по сокращению выбросов парниковых газов в 2015 году было принято Парижское соглашение по климату, к которому присоединилось 194 стороны (193 страны и Европейский союз). Соглашение направлено на усиление ответственности и глобального реагирования на угрозу изменения климата путем (см. Парижское соглашение):

1) ограничение роста средней температуры до 1,5% сверх доиндустриального уровня;

2) повышение способности адаптации к неблагоприятным последствиям изменения климата и устойчивости к изменению климата и низким выбросам парниковых газов таким образом, чтобы это не угрожало производству продуктов питания;

3) создание финансовых потоков, соответствующих переходу к низкоуглеродной экономике.

В России в целях реализации Парижского соглашения в 2015 году был подписан Указ Президента Российской Федерации «О сокращении выбросов парниковых газов», предусматривающий разработку Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года. В рамках целевого сценария предусмотрены дополнительные меры по переходу к низкоуглеродной экономике. Для этого предполагается применение технологий, снижающих углеродный след существующей угольной генерации, активная электрификация и цифровизация отраслей, полный переход на наилучшие доступные технологии, стимулирование развития и применения технологий улавливания, вторичного использования и захоронения парниковых газов, внедрение водородных технологий и т.д.

Одновременно должен быть обеспечен рост поглощающей способности управляемых экосистем (в частности, лесов)¹. Б.Г. Федоров отмечал, что *«объем поглощения углекислого газа*

¹ К числу управляемых экосистем относят: эксплуатационные и защитные леса, сельскохозяйственные угодья, осушенные торфяники и торфозаготовки, земли поселений и инфраструктуры, искусственные водохранилища.

биотой России (и океаном) существенно превышает объем выбросов. Совершенно очевидно, что остаточные мощности российского фонда поглотителей углерода безвозмездно используют зарубежные эмиттеры» (Федоров, 2017).

В ноябре 2022 года в Шарм-эль-Шейхе (Египет) состоялась 27-я Конференция сторон Рамочной конвенции ООН по изменению климата (COP27, КС-27), в рамках которой было принято новое климатическое соглашение ООН, предусматривающее возмещение развитыми странами развивающимся убытков и ущерба от глобального потепления (Ozone Program).

Низкая стоимость рабочей силы и природных ресурсов, отсутствие или крайне низкий уровень экологических штрафов и платежей «за грязь» делают развивающиеся страны привлекательными для размещения на их территориях, загрязняющих атмосферу, почву и воды производств, что делает бедные страны еще беднее, способствует росту нищеты и голода.

Участившиеся наводнения и засухи фактически приводят к вымиранию населенных пунктов и целых народов, проживающих в беднейших странах мира.

На КС-15, которая проходила 13 лет назад в Копенгагене, была установлена цель по совместной мобилизации развитыми странами 100 млрд долларов по предотвращению климатических изменений (в пользу развивающихся стран), однако она не была выполнена. На КС-27 (2022) были озвучены требования по реализации данной цели, разработке прозрачных механизмов финансирования. Кроме того, в резолюции по итогам КС-27 подчеркивается необходимость активизации мер по предотвращению повышения температуры на 1,5 градуса Цельсия. По оценкам исследователей, как уже отмечалось, существует большая вероятность, что к концу века величина глобального потепления составит больше, чем 2 градуса Цельсия. Поэтому именно сейчас необходимо быстрое и неуклонное сокращение выбросов парниковых газов минимум на 43% к 2050 году по сравнению с уровнем 2019 года. Глобальный переход к низкоуглеродной экономике, по оценкам экспертов, потребует ежегодных инвестиций в объеме 4–6 трлн долларов США в возобновляемые источники энергии (CP.27. Sharm el-Sheikh Implementation Plan).

4.4 Экономические механизмы регулирования выбросов парниковых газов

За последние 30 лет объемы выбросов парниковых газов в мире значительно увеличились, фактически в 1,5 раза (рис. 4.2, 4.8).

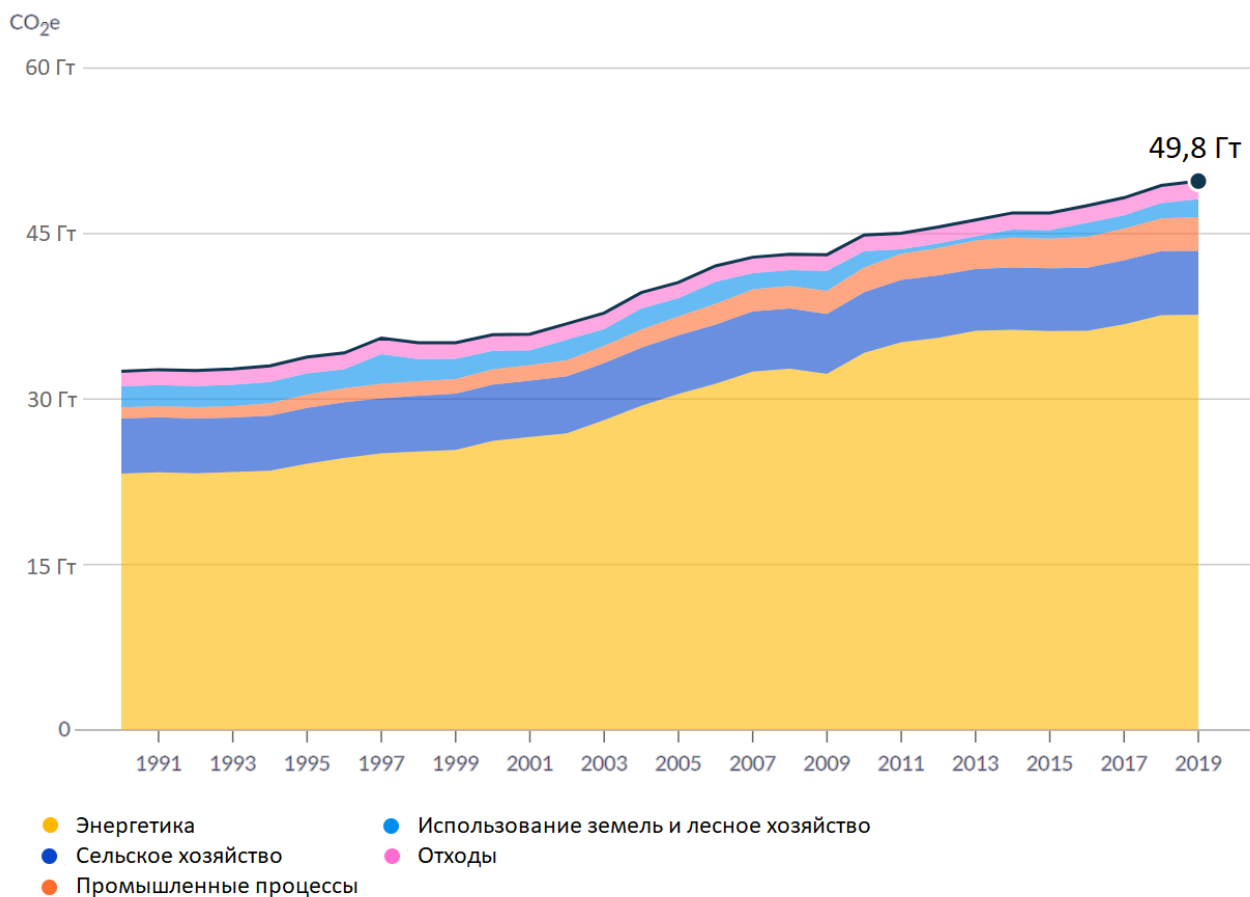


Рисунок 4.8 – Динамика и структура выбросов парниковых газов в мире в целом по отраслям, 1990–2019 гг.¹

Основным источником выбросов являются предприятия энергетической отрасли: в 2019 году на них приходилось 75,6% всех выбросов парниковых газов. На втором месте среди отраслей-загрязнителей в мире находится сельское хозяйство (доля выбросов составила 11,6% в 2019 г.). Вводя налоги, штрафы и другие инструменты регулирования, государство находит временное решение проблемы. Однако всем известно, что дешевле заплатить штраф, чем снизить выбросы, а потому проблема не может быть решена таким образом.

¹ Climate Watch.

Единственный, известный экономике способ устранения проблемы – введение корректирующего налога (налог Пигу). Данный налог увеличивает частные предельные издержки до уровня общих, таким образом, вынуждая производителя нести издержки, которые в явном виде включают наносимый урон¹.

Установив амбициозные цели по сокращению выбросов, развитые страны разработали пакеты мер, направленные на их полное достижение. Так, для стран Европейского союза разработан пакет «Fit for 55», включающий внушительный перечень мер (рис. 4.9), направленных на сокращение выбросов парниковых газов на 55% к 2030 году от уровня 1990 года.



Рисунок 4.9 – Основной пакет мер «Fit for 55» для стран Европейского союза²

Наиболее обсуждаемыми являются система торговли выбросами (квотами) и механизм трансграничной углеродной корректировки.

¹ Пахнин М.А. Экономика изменения климата: Нобелевская премия 2018 года Уильяма Нордхауса // Финансы и бизнес. 2020. № 1. Т. 16. С. 5–22. DOI: 10.31085/1814-4802-2020-16-1-5-22.

² European Council.

Торговля квотами на эмиссии парниковых газов представляет собой рыночный инструмент сокращения выбросов парниковых газов, действующий по принципу cap-and-trade (букв. «ограничить и торговать»). При этом правительство страны устанавливает некое пороговое значение выбросов для одной или нескольких отраслей, наносящих своей деятельностью вред окружающей среде. Компании из этих отраслей для продолжения производства должны приобрести разрешение на каждую единицу выбросов. Зачастую любое количество невостребованных компанией квот на выбросы она может продать.

Развитые и развивающиеся страны мира, установив целевые ориентиры для перехода к углеродной нейтральности, сформировали собственные системы торговли квотами на выбросы (табл. 4.3). Система торговли квотами на выбросы, сформированная в Европейском союзе, была самой первой из них.

Таблица 4.3 – Действующие системы торговли квотами на выбросы

Страна	Система торговли выбросами	Участники	Условие для присоединения к системе	Покрытие выбросов	Парниковые газы
Европейский союз	EU ETS (Система торговли квотами в Европейском союзе), с 2005 г.	Участники, относящиеся к секторам: производство тепла и электроэнергии, металлургия, нефтепереработка, производство цемента, стекла, керамики, бумаги, химическая промышленность, авиация и др.	Производство выбросов 25000 т CO ₂ экв и более	45% выбросов CO ₂ в странах ЕС	CO ₂ , закиси азота, ПФУ
Япония	Токуо cap-and-trade (Система торговли квотами Токийской агломерации), с 2010 г.	Крупные здания, заводы, поставщиков электроэнергии и другие структуры, использующие энергию из ископаемого топлива в боль-	Потребление участником энергии, эквивалентной не менее 1500 килолитрам сырой нефти в год	20% выбросов CO ₂ Токийской агломерации (0,18% общемировых выбросов)	CO ₂

Страна	Система торговли выбросами	Участники	Условие для присоединения к системе	Покрытие выбросов	Парниковые газы
	Saitama ETS (Система торговли квотами префектуры Сайтама), с 2011 г.	ших объемах	Потребление участником в течение 3 лет энергии, эквивалентной не менее 1500 килолитрам сырой нефти в год	20% выбросов CO ₂ префектуры Сайтама (0,11% общемировых выбросов)	CO ₂
Корея	Корейская СТК, с 2015 г.	Все компании из утверждаемых на каждый период секторов	Среднегодовой объем выбросов сектора в течении 3 лет подряд равны или превышают 125000 т CO ₂ экв, а также всех предприятий, где в течении 3 лет подряд среднегодовые выбросы составили более 25000 т CO ₂ экв	74% выбросов всей страны	6 парниковых газов в соответствии с РКИК ООН и не прямые выбросы от потребления электроэнергии
Новая Зеландия	NZ ETS (Система торговли выбросами Новой Зеландии), с 2008 г.	Широкий охват секторов: жидкое ископаемое топливо, лесное хозяйство, стационарная энергия, промышленность, сельское хозяйство, отходы и синтетические газы	Обязательные участники (обязаны покупать и сдавать правительству одну единицу выбросов за каждую тонну выбросов CO ₂ экв), добровольные участники	н/д	6 парниковых газов в соответствии с РКИК ООН
Казахстан	ETS-KZ, с 2013 г.	Компании, осуществляющие деятельность в нефтегазовой промышленности, металлургии, энергетическом секторе, горнодобывающей, химической промышленности, обрабатывающей промышленности (производство стройматериалов)	Производство выбросов 20000 т CO ₂ экв и более	н/д	CO ₂

Вьетнам, Индонезия планируют запуск собственных систем торговли квотами в 2024–2025 годах. В Сингапуре с 2019 года функционирует частная биржа торговли квотами на выбросы CO₂ для предприятий транспортной отрасли (AirCarbon Exchange). В ряде стран Центральной Азии также уже функционируют собственные системы торговли выбросами.

Механизм трансграничной углеродной корректировки (СВАМ) является еще одним инструментом материального стимулирования производителей переходить на низкоуглеродные технологии. Часто данный инструмент называют платой за углерод или налогом, но это неверно.

В целом ряде развитых стран действительно присутствуют налоги на использование ископаемого топлива: энергетический налог в Бельгии, Германии, Италии для предприятий, чье производство связано с выделением значительных объемов тепла, угольный налог во Франции на использование сырья, карбоновый (углеродный) налог в Швеции, Норвегии для металлургических компаний и тепловых станций.

Подобное регулирование действует в целом ряде стран (Швеция, Норвегия, Финляндия, Швейцария, Лихтенштейн, Исландия, Канада, Португалия, Великобритания, Франция и др.) и уже продемонстрировало достаточно высокие результаты: так, по оценке ОЭСР, рост углеродного налога на 1 Евро за тонну выбросов диоксида углерода приводит к сокращению выбросов в среднем на 0,73%. Можно привести и другой пример: в Великобритании объем выбросов диоксида углерода в период 2012–2018 годов сократился на 73% в результате постепенного поднятия углеродного налога до 36 Евро за тонну (OECD. Effective Carbon Rates, 2021).

В ряде стран углеродный налог устанавливается дифференцировано в зависимости от отраслевой принадлежности производителя и используемого топлива. Самый значительный размер углеродного налога установлен в Швеции и в 2021 году составил 137 долларов за тонну выбросов диоксида углерода, на втором месте – Швейцария и Лихтенштейн (101 дол./т CO₂e) (данные Statista).

Однако механизм трансграничной углеродной корректировки (СВАМ) не является налогом как таковым. Как отмечают эксперты Сколково, это – аналог таможенного сбора, рассчитываемый на основе объемов прямых выбросов парниковых газов, произведенных в ходе выпуска продукции и цены за эмиссии, равной цене на рынке обязательных углеродных сертификатов системы торговли квотами Европейского союза (Европейский механизм трансграничной углеродной корректировки..., Сколково). Фактически механизм сводится к покупке у национальных регуляторов стран Европейского союза СВАМ-сертификатов для импорта продукции на территорию Европейского союза и погашению этих сертификатов в соответствии с фактической величиной произведенных выбросов парниковых газов.

СВАМ распространяется на пять товарных групп:

- 1) цемент,
- 2) удобрения,
- 3) железо и сталь,
- 4) алюминий,
- 5) электроэнергия.

Для России применение механизма трансграничной углеродной корректировки странами Европейского союза, США и Азии означает сокращение прибыльности российского экспорта и бюджетных поступлений, особенно в долгосрочной перспективе. По оценкам экспертов, на страны Европейского союза приходится около 42% российского экспорта. При этом Россия занимает второе место после Китая по объему экспорта диоксида углерода в страны Европейского союза: около 150-200 млн. т ежегодно, по данным ОЭСР. С другой стороны, снижение спроса на ископаемого топлива в Европе в связи с переходом на низкоуглеродный план развития приведет к более серьезным потерям бюджета.

На фоне отказа от поставок российского газа Европа с 2022 года вновь переходит к использованию опасных для планеты угольных электростанций. Однако обрушившаяся на континент аномальная жара доказывает ошибочность такой замены топлива, считают эксперты Bloomberg. Европейские правительства наращивают свои энергетические запасы, сжигая больше угля, проектируя новые терминалы СПГ и расширяя связанные с ними сети

газопроводов. За счет этого цели Евросоюза по полной компенсации вредных выбросов парниковых газов становятся недостижимыми – фактически государства отказываются от декарбонизации.

Как отмечают аналитики, климатические амбиции Европы зависели от поставок газа из России – они позволяли западным экономикам функционировать в ожидании инвестиций в возобновляемые источники, электромобили и зеленые технологии по сокращению выбросов со стороны тяжелых отраслей промышленности.

В настоящее время происходит переосмысление проводимой политики, но в любом случае все правительства должны понимать необходимость принятия серьезных мер по достижению целей устойчивого развития для существования жизни на планете Земля.

ГЛАВА 5 УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ И СМЯГЧЕНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

5.1 Модель устойчивого развития как ответ на антропогенное воздействие на окружающую среду

В 1972 году на Конференции ООН по проблемам окружающей человека среды в Стокгольме группа экспертов указала на наличие тесной корреляции между состоянием окружающей среды и социально-экономическим развитием. Данная конференция имела крайне важное значение для организации последующего международного сотрудничества в области защиты окружающей среды и улучшения качества жизни. Кроме того, на ней была принята «Стокгольмская декларация по проблемам окружающей человека среды», определившая 26 принципов, которые должны служить «руководством в деле сохранения и улучшения окружающей человека среды» (Декларация Конференции ООН по проблемам окружающей человека среды).

Тем не менее термин «устойчивое развитие» еще не фигурировал в протоколе конференции, а выдвинутые принципы касались преимущественно вопросов защиты окружающей среды.

Социально-политические и экономические трансформации, а также экологические бедствия и катастрофы 1970–1980-х годов способствовали росту озабоченности общественности разных стран тревожными изменениями окружающей среды. Так концепция устойчивого развития получила необходимый импульс развития. Первые результаты содержатся в докладе Всемирной комиссии по вопросам окружающей среды и развития «Наше общее будущее» (Наше общее будущее, ООН), озвученном на Генеральной Ассамблее ООН в 1987 году. В этом документе впервые было дано определение устойчивого развития как «развития, которое удовлетворяет потребности настоящего времени, но которое не ставит под угрозу способность будущих поколений удовлетворять свои собственные потребности». Ключевая идея концепции устойчивого развития здесь состоит в установлении баланса между поколениями: «масштабы эксплуатации ресурсов, направление капиталовложений, ориентация технического разви-

тия и институциональные изменения согласуются с нынешними и будущими потребностями» (Наше общее будущее, ООН). Однако экологический контекст по-прежнему выступал на первый план: отмечалось, что рост городов, развитие производства наносят непоправимый вред окружающей среде, именно поэтому все страны должны стремиться к такому типу развитию, в рамках которого обеспечивается достойный уровень жизни населения и воспроизводство природных ресурсов. Удовлетворение потребностей, в частности потребностей бедного населения, и обеспечение достойного уровня жизни объявлялось первостепенной задачей, а потому определение приоритетов социально-экономического развития стран мира должно было способствовать выравниванию территориального неравенства. Для этого были поставлены стратегически важные задачи (Наше общее будущее, ООН):

- оживление роста;
- изменение качества роста;
- удовлетворение основных потребностей в рабочих местах, пищевых продуктах, энергии, воде и санитарной профилактике;
- обеспечение устойчивого уровня населения;
- сохранение и развитие базы ресурсов;
- переориентация технологии и контроль рисков;
- слияние экологических и экономических аспектов при принятии решений.

Однако достижение этих целей невозможно, если национальные и международные политические и экономические институты не будут отвечать требованиям устойчивого развития (Our Common Future, UN):

- обеспечить эффективное участие граждан в принятии решений;
- генерировать технические знания на самостоятельной и устойчивой основе;
- способствовать разрешению социальной напряженности, возникающей из-за диспропорций развития;
- сохранять экологический базис для последующего развития;
- искать новые технологические решения;
- способствовать установлению устойчивых торговых и финансовых структур;
- проявлять гибкость и способность к самокоррекции.

В 1992 году в Рио-де-Жанейро прошла Конференция ООН по окружающей среде и развитию, на которой были приняты два важных документа: Декларация Конференции Организации Объединенных Наций по проблемам окружающей человека среды и «Повестка дня на XXI век». В обоих документах впервые были определены принципы, социально-экономические аспекты и международные организационные механизмы достижения устойчивого развития. Несомненным достижением Конференции в Рио было установление конструктивного диалога между странами в области устойчивого развития.

Последующие крупные международные мероприятия концентрировали внимание деятелей научных и политических кругов уже не только на экологических аспектах устойчивого роста, но и на социально-экономических. По этой причине местом проведения следующей конференции была выбрана ЮАР. В 2002 году на Всемирном саммите по устойчивому развитию в Йоханнесбурге была принята Декларация, в которой утверждалась необходимость пересмотра действующей социально-экономической политики для искоренения неравенства, борьбы с бедностью и обеспечения достойного уровня жизни.

В 2015 году Генеральная Ассамблея ООН приняла Повестку дня в области устойчивого развития на период до 2030 года, которая представляет собой 15-летний план по достижению 17 целей устойчивого развития (далее – ЦУР), охватывающих три измерения развития человечества – экономическое (поддержка социального, человеческого капитала и ресурсной базы), социальное (соблюдение прав человека и борьба с неравенством) и экологическое (защита окружающей среды) (рис. 5.1). Заметим, что баланс между этими тремя составляющими устойчивости крайне хрупок: если одна из них приходит к устойчивому состоянию, то остальные две становятся неустойчивыми. Традиционная линейная экономическая модель, по сути, себя исчерпала, в том смысле, что она характеризуется формулой «возьми-сделай-выбрось»: экономические ресурсы используются неэффективным способом, так как их сохранение и экономия не являются важным аспектом производственного цикла.



Рисунок 5.1 – Трансформация линейной формы экономической модели в циркулярную, основанной на ЦУР¹

Переход к так называемой циркулярной экономике (рис. 5.2) позволяет отчасти решить ресурсную проблему: при таком подходе производство предполагает длительное и повторное использование, а также вторичную переработку и использование б/у продуктов.



Рисунок 5.2 – Циркулярная экономика в контексте ЦУР

¹ Sachs et al., 2019.

Реализация ЦУР затрагивает 6 направлений трансформационных изменений в мире по всем трем измерениям устойчивости развития (табл. 5.1), которые требуют значительных дополнительных расходов со стороны государственных и коммерческих структур и общественных организаций:

- 1) образование, пол, равенство;
- 2) здоровье, благополучие, демография;
- 3) устойчивое питание, земля, вода и океаны;
- 4) устойчивые города и населенные пункты;
- 5) чистая энергия и устойчивая промышленность;
- 6) цифровая трансформация.

Таблица 5.1 – Цели устойчивого развития по охвату проблем¹

Цели	Образование, пол, равенство	Здоровье, благосостояние, демография	Устойчивая промышленность	Устойчивое питание, земля, вода и океаны	Устойчивые города и сообщества	Цифровая трансформация
Цель 1. Ликвидация нищеты	+	+	+	+	+	+
Цель 2. Нулевой голод		+	+	+	+	+
Цель 3. Хорошее здоровье и благополучие		+	+	+	+	+
Цель 4. Качественное образование	+	+	+		+	+
Цель 5. Гендерное равенство	+	+	+	+	+	
Цель 6. Чистая вода и санитария			+	+	+	
Цель 7. Доступная и чистая энергия	+		+		+	+
Цель 8. Достойный труд и экономический рост	+	+	+	+	+	+
Цель 9. Промышленность, инновации и инфраструктура	+		+		+	+
Цель 10. Сокращение неравенства	+	+	+	+	+	+
Цель 11. Устойчивые города и сообщества			+	+	+	+
Цель 12. Ответственное потребление и производство	+		+	+	+	+
Цель 13. Меры по борьбе с изменением климата	+		+	+	+	+
Цель 14. Жизнь под водой	+		+	+	+	
Цель 15. Жизнь на суше	+		+	+	+	
Цель 16. Мир, справедливость и сильные институты			+		+	
Цель 17. Партнерство ради целей	+					+

¹ Sachs et al., 2019.

Некоторые эксперты выделяют 6 уровней или сфер устойчивого развития (рис. 5.3А), три (№ 1–3) из которых следует поддерживать, оберегать и восстанавливать, а другие три (№ 4–6) – развивать, приводить к состоянию устойчивости:

- 1) природа (Земля, биоразнообразие, экосистемы);
- 2) поддержание жизни (ресурсы, окружающая среда, помощь экосистемам);
- 3) населенные пункты (мир, культуры, места и т.д.);
- 4) человек (здоровье, образование, равенство, занятость и доходы, доступность жилья, энергии, воды, здоровья и т.д.);
- 5) экономика (благополучие, производство, торговля, экономическая безопасность, инфраструктура, инновации и т.д.);
- 6) общество (эффективные институты, социальный капитал, государственность, семья и т.д.).

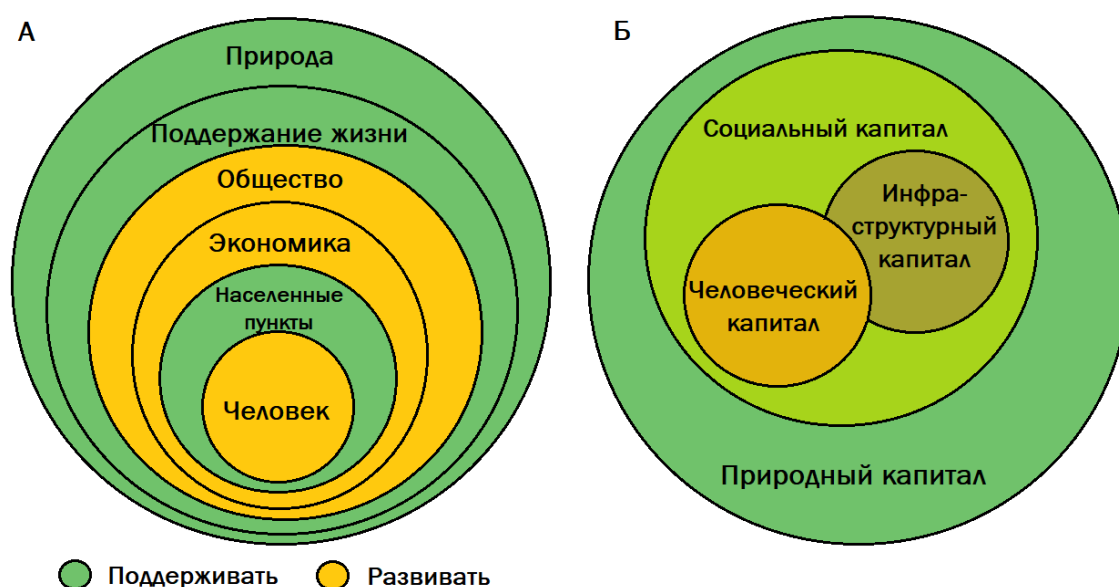


Рисунок 5.3 – А – Концепция устойчивого развития: от человека к природе; Б – Измерения устойчивого развития с позиции капитала¹

Рисунок 5.3Б представляет собой интерпретацию рисунка 5.3А с позиции капитала: человеческий и инфраструктурный капитал встраиваются в общественный и далее – в природный капитал. Нельзя рассматривать природу как неисчерпаемый источник ресурсов: выражаясь словами классика русской литерату-

¹ United Nations, 2014.

ры И.С. Тургенева, «природа не храм, а мастерская». Природные ресурсы создают существенный вклад в доходах, однако тем самым сокращается возможность их последующего развития и потребления следующими поколениями.

В рамках Саммита по целям устойчивого развития 2019 в Нью-Йорке было обозначено так называемое Десятилетие действий (Decade of Action) по мобилизации общественности и ресурсов для решения проблемы достижения устойчивого развития в мире (табл. 5.2).

Таблица 5.2 – Уровни взаимодействия для обеспечения устойчивого развития в контексте Десятилетия действий¹

Уровень действий	Заинтересованные общественные структуры и группы	Задача
Глобальные действия	Международные организации, правительства государств и др.	Сохранение лидерства, ресурсов и лучших практик и решений по достижению целей устойчивого развития
Местные (локальные) действия	Правительства, местные органы власти, организации и учреждения	Обеспечение необходимых изменений полиции, бюджета, институтов, регулирующих органов власти, городских и региональных властей
Действия людей	Различные сообщества и группы населения	Организация движений среди молодежи, гражданского общества, СМИ, профсоюзов, научного сообщества и других заинтересованных групп для обеспечения трансформаций

Как отмечается, по состоянию на 19.08.2022 было организовано 387 акселерационных действий, большая часть которых связана с достижением целей 17, 13, 1, 5, 6, 4 и 8 (в порядке убывания количества мероприятий) (рис. 5.4). Акселерационными действиями называют инициативы, предпринимаемые отдельными правительствами и негосударственными организациями и их объединениями для достижения целей устойчивого развития. Наибольшая доля проводимых акселерационных действий приходится на страны Европы (38%) и Латинской Америки (19%), а их инициаторами являются преимущественно национальные правительства (32%) и институты гражданского общества (31%).

¹ UN, The Sustainable Development Agenda, 2022.

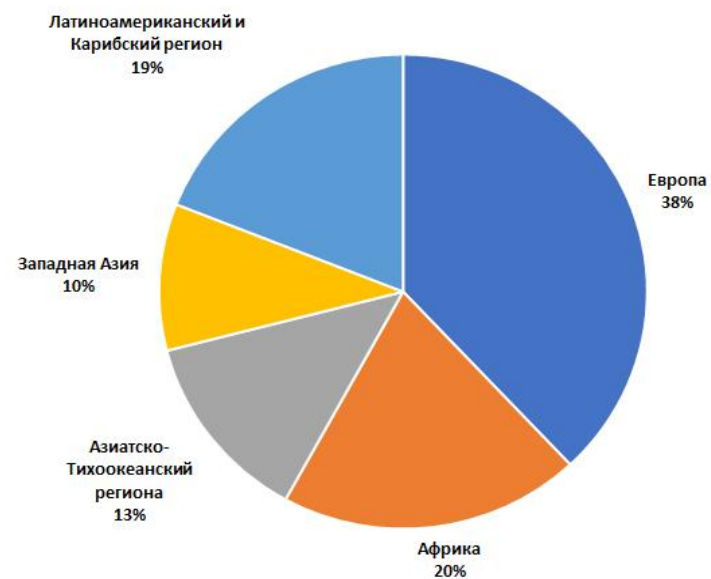
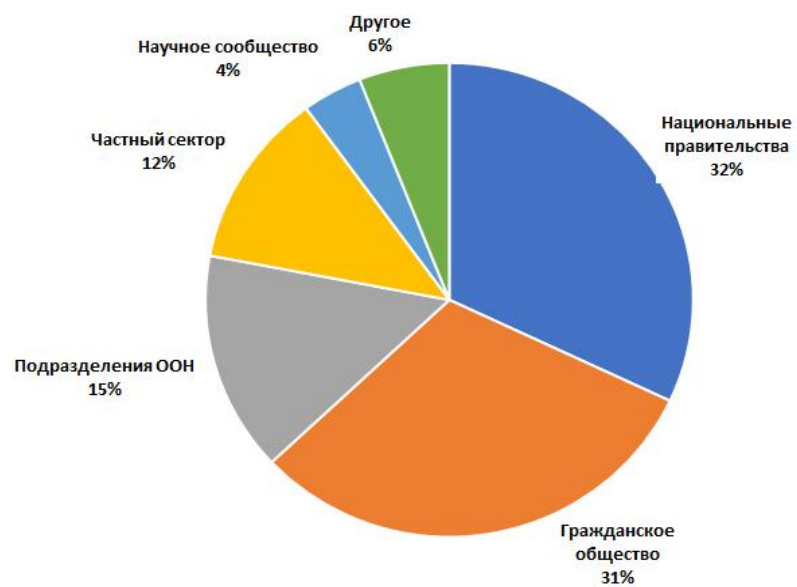
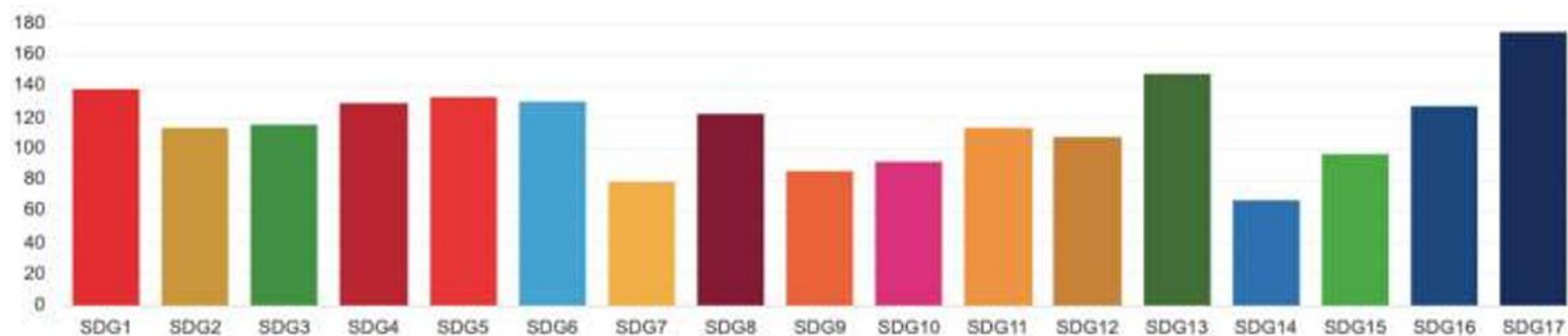


Рисунок 5.4 – Количество акселерационных действий по целям устойчивого развития, регионам и структурам¹

¹ Information Brief on SDG Acceleration Actions, 2022.

Тем не менее даже с учетом полномасштабной поддержки акселерационных мероприятий решить все проблемы в части устойчивого развития невозможно. В таблице 5.3 представлен базовый сценарий Департамента по экономическим и социальным вопросам ООН, сформированный еще в 2019 году, достижения целей устойчивого развития (без учета влияния пандемии COVID-2019). Как отмечается в докладах ООН о целях в области устойчивого развития в 2020 году, мир уже давно «выбился из графика» в борьбе за прогресс по означенным целям, причем по целому ряду показателей отставание началось еще в 2010 году.

В результате стремительного распространения пандемии коронавируса COVID-2019 в большинстве стран мира были предприняты беспрецедентные меры по обеспечению режима изоляции населения (и/или карантина), что привело к резкому сокращению объемов производства, в ряде случаев массовой безработице и другим негативным последствиям.

Примечательно, что введение в 2020 году в целом ряде стран карантина для предотвращения распространения пандемии COVID-19 способствовало (пусть и временно) сокращению выбросов вредных веществ. Так, через 3 недели после введения ограничений на перемещения и ряд видов деятельности в населенных пунктах в индийском штате Пенджаб стали видны Гималаи.

В Европе меры по борьбе с коронавирусом привели к снижению среднего уровня загрязнения диоксидом азота (NO₂) примерно на 40% и снижению среднего уровня загрязнения твердыми частицами на 10% за 30 дней (исследование опубликовано в апреле 2020 г.), в результате чего 11 000 человек удалось избежать смерти от загрязнения воздуха (95% доверительный интервал: 7000–21 000). Этот эффект возникает из-за того, что производство электроэнергии из угля упало на 37%, а потребление нефти – примерно на 1/3. Сжигание угля и нефти являются основными источниками загрязнения NO₂ и ключевыми источниками загрязнения твердыми частицами в Европе. Эти выводы основаны на новой оценке CREA качества воздуха и воздействия на здоровье сокращения потребления ископаемого топлива во время эпидемии (CREA, 2022). Но в целом негативные последствия сделали невозможным достижение установленных целей устойчивого развития к 2020 году (табл. 5.4).

Таблица 5.3 – Сценарий достижения целей устойчивого развития – 2030 к 2020 г. без учета влияния COVID-2019¹

Цели	Частично достижимые	Слабо достижимые цели	Недостижимые цели	Негативный долгосрочный тренд
Цель 1. Ликвидация нищеты		Ликвидация крайней бедности	Социальная защита для всех	
Цель 2. Нулевой голод		Ликвидация голода (недоедание); сохранение генетического разнообразия семян, растений и животных для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства	Конец недоеданию (задержка развития) Поддержание генетического разнообразия Инвестиции в сельское хозяйство	Конец недоеданию (ожирение)
Цель 3. Хорошее здоровье и благополучие	Сокращение детской смертности Сокращение младенческой смертности		Материнская смертность Преждевременная смерть от незаразных болезней	Сокращение вдвое во всем мире количества смертей и травм в результате ДТП
Цель 4. Качественное образование	Доступность начального образования	Рост числа грамотных среди подростков и взрослых Рост числа стипендий, предоставляемых учащимся из развивающихся стран, особенно НРС, малых островных развивающихся государств и африканских стран	Раннее детское развитие Доступность среднего образования Доступность высшего (третичного) образования	

¹ Sustainable Development Outlook, 2020.

Цели	Частично достижимые	Слабо достижимые цели	Недостижимые цели	Негативный долгосрочный тренд
Цель 5. Гендерное равенство			Участие женщин в политической деятельности	
Цель 6. Чистая вода и санитария		Доступ к безопасной санитарии (практики открытой дефекации) Обеспечение охраны и восстановления связанных с водой экосистем	Доступ к чистой питьевой воде Доступ к безопасным санитарным услугам	
Цель 7. Доступная и чистая энергия		Доступ к электричеству	Использование возобновляемой энергии Повышение энергоэффективности	
Цель 8. Достойный труд и экономический рост	Разработка и введение в действие глобальной стратегии обеспечения занятости молодежи		Использование детского труда	Сокращение доли молодежи, которая не работает, не учится и не приобретает профессиональных навыков
Цель 9. Промышленность, инновации и инфраструктура	Расширение доступа к ИКТ	Усиление научных исследований (рост расходов на НИОКР)	Усиление научных исследований (рост числа исследователей)	
Цель 10. Сокращение неравенства			Сокращение издержек на международные переводы денежных средств	Неравенство доходов
Цель 11. Устойчивые города и сообщества		Осуществление стратегий, направленных на устранение социальных барьеров, повышение эффективности использования ресурсов, смягчение послед-	Городское население, проживающее в трущобах	

Цели	Частично достижимые	Слабо достижимые цели	Недостижимые цели	Негативный долгосрочный тренд
		ствий изменения климата, адаптацию к его изменению, и содействие разработке и внедрению мер по комплексному управлению связанными с бедствиями рисками		
Цель 12. Ответственное потребление и производство			Ответственное обращение с химическими отходами и веществами	Сокращение «материального следа»
Цель 13. Меры по борьбе с изменением климата				Сокращение выбросов в соответствии с Парижскими соглашениями
Цель 14. Жизнь под водой	Охват природоохранными мерами по крайней мере 10% прибрежных и морских районов	Отмена субсидий, способствующих перелову рыбы и незаконному, нерегистрируемому и нерегулируемому рыбному промыслу		Перелов рыбы Продолжающееся ухудшение качества прибрежных вод
Цель 15. Жизнь на суше	Содействие рациональному использованию лесов, препятствование обезлесению и восстановление деградировавших лесов	Сохранение и восстановление наземных и пресноводных экосистем Учет ценности экосистем и биоразнообразия в государственных планах и счетах	Предотвращение проникновения чужеродных инвазивных видов в наземные и водные экосистемы	Потеря биоразнообразия Браконьерство и торговля редкими животными Исчезновение видов, находящихся под угрозой вымирания
Цель 16. Мир, справедливость и сильные институты			Всеобщая регистрация рождений	

Цели	Частично достижимые	Слабо достижимые цели	Недостижимые цели	Негативный долгосрочный тренд
Цель 17. Партнерство ради целей		Усиление поддержки в целях наращивания потенциала развивающихся стран, с тем чтобы значительно повысить доступность актуальных, качественных и дезагрегированных данных		Рост экспорта развивающихся стран и удвоение доли НРС в мировом экспорте

Таблица 5.4 – Достижение целей устойчивого развития и корректировка его хода в условиях пандемии COVID-2019¹

Цели устойчивого развития	Ход достижения целей (по данным на 2019 г.)	Негативное воздействие COVID-2019	Действия ООН в связи с COVID-2019
Цель 1. Повсеместная ликвидация нищеты во всех ее формах	замедление темпов сокращения масштабов крайней нищеты; невозможность достичь к 2030 г. целевого показателя доли населения мира, проживающего в условиях крайней нищеты, на уровне ниже 3%	рост нищеты вследствие потери работы; диспропорциональное воздействие на уязвимые группы населения	Рамочная программа по принятию незамедлительных социально-экономических мер в ответ на кризис COVID-2019
Цель 2. Ликвидация голода, обеспечение продовольственной безопасности, улучшение питания и содействие ус-	рост числа голодающих в мире; сокращение государственных инвестиций в сельское хозяйство; сокращение ассигнований на субсидирование экспорта	голод вследствие падения доходов и сокращения доступности пищи в условиях карантина; отсутствие продуктовой безопасности вследствие сокращения гло-	Программа оказания продовольственной помощи Всемирной продовольственной программы ООН Глобальный план гуманитар-

¹ Sustainable Development Outlook, 2020.

Цели устойчивого развития	Ход достижения целей (по данным на 2019 г.)	Негативное воздействие COVID-2019	Действия ООН в связи с COVID-2019
стойчивому развитию сельского хозяйства		бальных поставок продуктов; плохое питание детей из-за отсутствия питания в школе	ного реагирования ООН
Цель 3. Обеспечение здорового образа жизни и содействие благополучию для всех в любом возрасте	успехи в увеличении продолжительности жизни, сокращение материнской и детской смертности и борьбе с основными инфекционными заболеваниями; 50% населения мира не имеет доступа к базовым медицинским услугам	высокая заболеваемость и смертность от COVID-2019; высокий уровень смертности от иных причин вследствие чрезмерной загруженности системы здравоохранения; негативное влияние карантина на психическое здоровье населения и др.	Поддержка Стратегического плана ВОЗ по обеспечению готовности и реагирования на COVID-2019 Фонд солидарности и реагирования на COVID-2019 (ВОЗ)
Цель 4. Обеспечение всеохватного и справедливого качественного образования и поощрение возможности обучения на протяжении всей жизни для всех	262 млн детей и молодых людей в возрасте 6–17 лет в 2017 г. все еще не посещали школу; уровень подготовки более половины детей и подростков не соответствует минимальным нормативам по чтению и математике; в мире не достигнуто заметного прогресса в увеличении доли квалифицированных учителей начальных школ	заккрытие школ и детских садов; потери в развитии человеческого капитала; плохое питание детей из-за отсутствия питания в школе	Глобальная коалиция по вопросам образования в связи с COVID-2019 (ЮНЕСКО в партнерстве ООН), предполагающая оказание помощи странам в мобилизации и внедрении инновационных решений для дистанционного обучения, обеспечение всеобщего доступа, содействие возвращению учащихся в классные комнаты и т.д.
Цель 5. Обеспечение гендерного равенства и расширение прав и возможностей для женщин и девочек	существенное сокращение распространности калечащих операций на женских половых органах и ранних браков; недостаточный прогресс в урегу-	социальное и экономическое воздействие на женщин (сокращение рабочих мест, бедность); высокий уровень смертности от вируса среди мужчин	принятие позитивных действий по устранению неравенства во многих областях жизни женщин (сокращение гендерного насилия, ориентированность

Цели устойчивого развития	Ход достижения целей (по данным на 2019 г.)	Негативное воздействие COVID-2019	Действия ООН в связи с COVID-2019
	лировании структурных проблем (дискриминации, несправедливых социальных норм и подходов, принятии ненадлежащих решений по вопросам сексуального и репродуктивного здоровья и др.)		социальной защиты на благо женщин и девочек, равное распределение работы по уходу, участие женщин и девочек в процессе планирования и принятия решений об ответных мерах в связи с COVID-2019)
Цель 6. Обеспечение наличия и рационального использования водных ресурсов и санитарии для всех	миллиарды людей не имеют доступа к безопасной воде, санитарии и приспособлениям для мытья рук; невозможно внедрить систему комплексного управления водными ресурсами к 2030 г. в большинстве стран мира	ограниченный доступ к чистой воде среди ущемляемых групп населения, что, в свою очередь, ограничивает способность поддерживать гигиену	поддержки пострадавшим, подверженным риску, обладающим ограниченными ресурсами и уязвимым странам в целях обеспечения услуг водоснабжения, санитарии и гигиены и профилактики и борьбы с инфекциями в медицинских учреждениях (ООН-Хабитат, ЮНИСЕФ)
Цель 7. Обеспечение всеобщего доступа к недорогим, надежным, устойчивым и современным источникам энергии для всех	активно осваиваются альтернативные источники энергии; расширяется доступ к электроэнергии в беднейших странах; 800 млн человек живут по-прежнему без электричества	замедление темпов экономического роста, способствующее снижению цен на энергоносители, что сделало энергию более доступной, но одновременно снизило привлекательность возобновляемых источников энергии	Инициатива «Устойчивая энергетика для всех»
Цель 8. Содействие поступательному, всеохватному и устойчивому экономическому росту, полной и производи-	отмечается повышение производительности труда и сокращение безработицы в глобальных масштабах; замедление темпов роста мировой	экономический кризис затронул все части мира; разрывы в торговле; массовая безработица; банкротства предприятий;	Рамочная программа по принятию незамедлительных социально-экономических мер в ответ на кризис COVID-2019

Цели устойчивого развития	Ход достижения целей (по данным на 2019 г.)	Негативное воздействие COVID-2019	Действия ООН в связи с COVID-2019
тельной занятости и достойной работе для всех	экономики	снижение туристической активности; дефициты государственных бюджетов	
Цель 9. Создание устойчивой инфраструктуры, содействие всеохватной и устойчивой индустриализации и инновациям	отстающие страны сталкиваются с невозможностью удвоить доли обрабатывающей промышленности в ВВП к 2030 г.; объем инвестиций в НИОКР в наименее развитых странах не дотягивает до среднего общемирового уровня	падение объемов промышленного производства; банкротства и закрытия предприятий; ускоренное внедрение цифровых технологий для электронного здравоохранения, образования, правительства и платежей	Доклад о финансировании устойчивого развития в 2020 г.
Цель 10. Сокращение неравенства внутри стран и между ними	неравенство доходов и возможностей во многих странах продолжает увеличиваться	неравномерное негативное воздействие на здоровье и экономику уязвимых групп населения (в том числе беженцев и мигрантов) особенно в странах с низким уровнем социальной защиты; потеря рабочих мест низкоквалифицированной рабочей силы	призыв к беспрецедентному расширению международной поддержки и политической приверженности (в том числе посредством Фонда ООН по реагированию на COVID-2019)
Цель 11. Обеспечение открытости, безопасности, жизнестойкости и экологической устойчивости городов и населенных пунктов	более 1 млрд человек продолжают жить в трущобах; увеличение территорий городов происходит быстрее, чем рост численности их населения, что представляет угрозу для устойчивого развития	рост бедности среди городского населения; прекращение работы городского транспорта; ограничение доступа к общественным / зеленым зонам; резкое краткосрочное снижение уровня загрязнений и др.	План реагирования ООН-Хабитат

Цели устойчивого развития	Ход достижения целей (по данным на 2019 г.)	Негативное воздействие COVID-2019	Действия ООН в связи с COVID-2019
Цель 12. Обеспечение перехода к рациональным моделям потребления и производства	стремительный рост потребления ресурсов и ресурсозатрат на душу населения	краткосрочное сокращение использования природных ресурсов из-за снижения экономической активности; повышение уровня загрязнения пластиком (в т.ч. средствами индивидуальной защиты) и др.	обеспечение эффективного восстановления и переход от моделей производства и потребления к более устойчивой практике
Цель 13. Принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями	наблюдается резкое увеличение объемов выбросов парниковых газов; требуется расширение доступа к финансированию, более масштабные планы и ускоренные действия по смягчению последствий изменения климата и адаптации к ним	краткосрочное сокращение выбросов парниковых газов; отсутствие ясности относительно инвестиций в охрану окружающей среды; замедление темпов экономического роста, способствующее снижению цен на энергоносители, что сделало энергию более доступной, но одновременно снизило привлекательность возобновляемых источников энергии	переход к зеленой экономике: переход к менее углеродоемкой экономике; экологизация рабочих мест и устойчивый и всеохватный рост; зеленая экономика: повышение устойчивости обществ; инвестирование в устойчивые решения; борьба со всеми климатическими рисками; сотрудничество
Цель 14. Сохранение и рациональное использование океанов, морей и морских ресурсов в интересах устойчивого развития	расширение охраняемых районов для сохранения морского биоразнообразия, а также существующих стратегий и договоров, поощряющих ответственное использование ресурсов Мирового океана; необходимы меры для борьбы с негативными последствиями перелова, повышения кислотности океана в связи с изменением климата	краткосрочное снижение угроз морскому биоразнообразию за счет сокращения экономической активности	Доклад Экономической и социальной комиссии ООН для Азии и Тихого океана: пандемия дает возможность восстановить экосистему океана, использовать бактерии, обнаруженные в его глубинах, для лабораторных экспериментов; Конференция ООН по океану (перенесена на 2020–2021 гг.)

Цели устойчивого развития	Ход достижения целей (по данным на 2019 г.)	Негативное воздействие COVID-2019	Действия ООН в связи с COVID-2019
<p>Цель 15. Защита и восстановление экосистем суши и содействие их рациональному использованию, рациональное лесопользование, борьба с опустыниванием, прекращение и обращение вспять процессе деградации земель и прекращение процесса утраты биоразнообразия</p>	<p>наблюдаются обнадеживающие тенденции в области охраны экосистем суши и биоразнообразия: процесс обезлесения замедляется, увеличение объемов финансовой помощи на цели охраны биоразнообразия; задачи на 2020 г. не удастся выполнить: деградация земель продолжается, утрата биоразнообразия приобретает тревожные масштабы и т.д.</p>	<p>краткосрочное снижению угроз наземному и пресноводному биоразнообразию из-за снижения экономической активности</p>	<p>помощь странам в утилизации отходов в связи с COVID-2019; осуществление трансформационных преобразований для природы и людей; работа по обеспечению пакетов мер по восстановлению экономики, развивающих устойчивость к будущим кризисам; модернизация глобального управления окружающей средой; провозглашение Десятилетия восстановления экосистем (2021–2030); работа над новой Глобальной рамочной программой в области биоразнообразия после 2020 г.</p>
<p>Цель 16. Содействие построению миролюбивого и открытого общества в интересах устойчивого развития, обеспечение доступа к правосудию для всех и создание эффективных, подотчетных и основанных на широком участии учреждений на всех уровнях</p>	<p>наблюдаются неравенство прав, возможностей, отсутствие безопасности, злонамеренные действия по отношению к гражданскому обществу</p>	<p>усиление давления на национальные правительства с целью смягчения последствий пандемии на здоровье и экономику; увеличение государственного дефицита и долга; нарушения законодательных процессов и публичных дебатов; приостановление процессов повышения прозрачности политики</p>	<p>призыв правительств к подконтрольным, прозрачным, законным, пропорциональным, необходимым и недискриминационным мерам в связи с COVID-2019; осуществление миротворческими силами ООН помощи странам в реагировании на COVID-2019; активизация со стороны</p>

Цели устойчивого развития	Ход достижения целей (по данным на 2019 г.)	Негативное воздействие COVID-2019	Действия ООН в связи с COVID-2019
			Управления ООН по делам беженцев услуг здравоохранения, водоснабжения, санитарии и гигиены беженцам и перемещенным лицам
<p>Цель 17. Укрепление средств достижения устойчивого развития и активизации работы механизмов глобального партнерства в интересах устойчивого развития</p>	<p>наблюдается достижение некоторых целевых показателей: высокий уровень объемов денежных переводов, совершаемых частными лицами, повышение доступности Интернета, создание Банка технологий для наименее развитых стран</p>	<p>закрытие границ; долговой кризис; замедление темпов международной торговли; возможное сокращение международных денежных переводов и финансирования; возможное снижение отзывчивости международного гуманитарного сообщества на потребности беднейших стран</p>	<p>предложения международной кооперации для реализации восстановительных мер</p>

Таким образом, очевидно, что пандемия COVID-2019 оказала на мировую экономику не просто негативное влияние, а скорее разрушительное. Вскрытые системные проблемы, на которые десятилетиями национальные правительства не обращали должного внимания, потребовали срочного решения и значительных инвестиций. Однако глобальное достижение целей устойчивого развития фактически отдалается.

5.2 Зеленая экономика как инструмент устойчивого развития

Все цели устойчивого развития тесно связаны между собой. Изменения в любой из них соответствующим образом сказываются на остальных.

Как отмечают эксперты ООН, 2019 г. стал вторым самым теплым годом за всю историю метеонаблюдений и завершающим самое теплое десятилетие (2010–2019). Кроме того, в этот год зафиксированы рекордные выбросы парниковых газов. Согласно предварительным данным, как уже отмечалось, в 2020 году наблюдалось снижение выбросов парниковых газов на 5,4% (рис. 5.4), однако данное улучшение носит лишь временный характер и обусловлено практически повсеместным введением ограничений на перемещения (в том числе авиасообщение) в период пандемии COVID-19. Предполагается, что восстановление национальных экономик после пандемии должно быть ориентировано на достижение принципов устойчивости: в каждой экономике по-прежнему присутствуют системные проблемы, а вопросы неравенства, нищеты и голода актуальны в разной степени для всех стран мира. Пандемия фактически способствовала усугублению ситуации: вскрыв проблемы мировой системы здравоохранения, она обнажила недостатки мировых продовольственных систем, усугубила и без того сложное и уязвимое положение женщин и девочек в обществе.

Генеральный секретарь ООН предложил шесть мер, связанных с климатом, которые могут быть взяты на вооружение пра-

вительствами при восстановлении экономики (Цель 13: Принятие срочных мер...):

- переход к зеленой экономике;
- экологизация рабочих мест и устойчивый и всеохватный рост;
- повышение устойчивости обществ и людей;
- инвестирование в устойчивые решения;
- борьба со всеми климатическими рисками;
- сотрудничество.

Зеленая экономика представляет собой лишь инструмент для достижения устойчивого развития. Она базируется на принципах ресурсо- и энергоэффективности, справедливости и равенства между странами и поколениями, исходит из необходимости сохранения биоразнообразия и экосистем и уважения экологических лимитов планеты.

В контексте борьбы с выбросами парниковых газов и глобальным изменением климата ученые и эксперты стали употреблять термин «низкоуглеродная экономика». В данном аспекте речь идет о необходимости структурно-технологических трансформаций, направленных на сокращение использования в процессе производства ископаемого топлива, сжигание которого приводит к значительным выбросам углекислого газа и метана. Переход на возобновляемые источники энергии и водородное топливо становятся наиболее желательными перспективами.

Стратегии декарбонизации производства в первую очередь инициированы тремя основными причинами: ростом спроса на экологичную продукцию; ужесточением регулирования эмиссии углекислого газа; растущим интересом общественности к проблеме устойчивого развития.

Интерес к развитию водородной энергетики в России и за рубежом растет: крупнейшие компании-лидеры отраслей в своих стратегиях перехода к низкоуглеродному производству отмечают необходимость использования водорода как основного топлива в виду его экологичности и экономичности (в таблице 5.5 приводятся некоторые цены за 1 кг водорода, указанные в различных свободных ресурсах).

Таблица 5.5 – Классификация водорода по цвету¹

	Способ получения	Источник энергии	Наличие выбросов отравляющих веществ	Себестоимость за 1 кг, долл.
Зеленый водород	Электролиз воды	Электрические станции	Выбросы CO ₂ отсутствуют	2–10
Желтый (оранжевый) водород	Электролиз воды	Атомные электростанции	Выбросы CO ₂ отсутствуют	от 2
Бирюзовый водород	Пиролиз метана	Химическая промышленность	Выбросы CO ₂ отсутствуют (производится твердый углерод)	н/д
Изумрудный водород	Разложение биометана и природного газа с помощью термоплазменного электролиза	Электростанции	Выбросы CO ₂ отсутствуют	н/д
Серый водород	Паровая конверсия метана, источник сырья – природный газ	Химическая промышленность	Присутствуют вредные выбросы	1–2,5
Голубой водород	Паровая конверсия метана	Химическая промышленность	Присутствуют «субстанциальные» выбросы парниковых газов (при добыче и транспортировке природного газа)	1,5–2
Коричневый (бурый) водород	Газификация бурого угля	Химическая промышленность	Присутствуют «субстанциальные» выбросы парниковых газов (при добыче и транспортировке природного газа)	2–2,5

Переход на водородную энергетику открывает значительные перспективы для развития промышленности и прикладных наук, однако, решив, возможно, проблему снижения выбросов вредных веществ и парниковых газов в атмосферу, откроет другую, связанную с сокращением или прекращением добычи ископаемого топлива и, как следствие, массовой безработицей в данной отрасли и буквальным вымиранием отдельных населенных пунктов.

¹ Neftegaz.ru.

Учащающиеся стихийные бедствия (наводнения, лесные пожары и т.п.) наносят значительный ущерб отдельным домохозяйствам и экономике страны в целом, приводят к масштабным разрушениям и человеческим жертвам. Изменение климата существенным образом влияет и на демографические и социальные процессы.

Несмотря на сложности в реализации стратегий декарбонизации экономики (достичь целевых показателей к 2030 году в существующих условиях в настоящем фактически невозможно), стремиться к этой цели по-прежнему необходимо.

Важно продолжать исследования климатической зависимости экономического развития на базе прогнозов климата будущего и антропогенного влияния на него.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдусаматов Х.И. Изменения климата под влиянием звезды Солнце в настоящем и будущем // Вопросы географии. – 2019. – № 149. – С. 220–262.
2. Авакян С.В. Роль активности Солнца в глобальном потеплении // Вестник Российской Академии Наук. – 2013. – Т. 83, № 5. – С. 425–436.
3. Аكوпова Е.С. Экологический вектор международной транспортной логистики // Зеленая логистика: концепция минимизации нагрузки на окружающую среду и сохранения планеты для будущих поколений чистых отраслей и технологий РФ: Материалы междунар. науч.-практ. XII Южно-Российского логистического форума. 14–18 октября 2016 г. – Ростов-на-Дону, 2016. – С. 252–258.
4. Альбеков А.У. Зеленая экономика: императивы развития экологически чистых отраслей и технологий РФ // Зеленая логистика: концепция минимизации нагрузки на окружающую среду и сохранения планеты для будущих поколений: Материалы междунар. науч.-практ. XII Южно-Российского логистического форума. 14–18 октября 2016 г. – Ростов-на-Дону 2016. – С. 10–20.
5. Альбеков А.У., Даудов М.Х. Экономическая и экологическая безопасность хозяйственного комплекса страны // Зеленая логистика: концепция минимизации нагрузки на окружающую среду и сохранения планеты для будущих поколений чистых отраслей и технологий РФ: Материалы междунар. науч.-практ. XII Южно-Российского логистического форума. 14–18 октября 2016 г. – Ростов-на-Дону, 2016. – С. 246–249.
6. Андреева Е.Ю., Лабазанов Ч.С. Тенденции и перспективные направления использования инструментов зеленой логистики в России // Зеленая логистика: концепция минимизации нагрузки на окружающую среду и сохранения планеты для будущих поколений чистых отраслей и технологий РФ: Материалы международного науч.-практ. XII Южно-Российского логистического форума. 14–18 октября 2016 г. – Ростов-на-Дону, 2016. – С. 255–257.
7. Бахманн, К. Ад в небесах. GEO. Непознанный мир: Земля. – 2017. – С. 35–41.
8. Бляхарчук, Т.А. Послеледниковая динамика растительного покрова Западно-Сибирской равнины и Алтае-Саянской горной области по данным спорово-пыльцевого анализа болотных и озерных отложений: Автореф. дисс. д-ра биол. наук. – Томск, 2010. – 43 с.
9. Богатые страны впервые согласились заплатить бедным за причиненный климатический ущерб [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ozone>

program.ru/novosti/bogatie_strani_soglasilis_zaplatit/ (дата обращения: 14.12.2022).

10. Борисов А.А. Климаты СССР в прошлом, настоящем и будущем. – Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1975. – 434 с.

11. Борисова В.В. Экологический потенциал логистики // Зеленая логистика: концепция минимизации нагрузки на окружающую среду и сохранения планеты для будущих поколений чистых отраслей и технологий РФ: Материалы междунар. науч.-практ. XII Южно-Российского логистического форума. 14–18 октября 2016 г. – Ростов-на-Дону, 2016. – С. 39–42.

12. Вальтер Г. Растительность земного шара. Эколого-географическая характеристика. – М.: Прогресс, 1974. – Т. 2. – 423 с.

13. Вальтер Г. Растительность земного шара. Эколого-географическая характеристика. М.: Прогресс, 1975. – Т. 3. – 429 с.

14. Водные ресурсы южного макрорегиона в контексте устойчивого развития: Монография / Ред.: Г.Г. Матишов, А.У. Альбеков. – Ростов-на-Дону: Издательско-полиграфический комплекс РГЭУ (РИНХ), 2021.

15. Вэнс Э. Илон Маск. TESLA. SPACE X и дорога в будущее. – 2015.

16. Грицевич И.Г., Кокорин А.О., Подгорный И.И. Изменение климата: Учебно-методические материалы для школьников и студентов субарктических регионов России. – М.: WWF России, 2007.

17. Гричук В.П. Применение пыльцевого анализа для реконструкции физико-географических условий прошлого. Второй Всесоюз. географ. съезд

25–31 января 1947 г.; тезисы докладов по секции Физической географии. – М.: Л.: Изд-во АН СССР 1948. – С. 36–38.

18. Гричук В.П. Опыт реконструкции некоторых элементов климата северного полушария в атлантический период голоцена. Голоцен. – М.: Наука, 1969. – С. 41–57.

19. Гричук В.П. Палеоботаническое обоснование стратиграфического расчленения четвертичных отложений на территории СССР. Проблемы современной палинологии. – Новосибирск: Наука, 1984. – С. 51–54.

20. Гричук В.П., Заклинская Е.Д. Анализ ископаемых пыльцы и спор и его применение в палеогеографии. – М.: Госизд. географ. лит-ры, 1948. – 223 с.

21. Декларация Конференции Организации Объединенных Наций по проблемам окружающей человека среды [Электронный ресурс]. – URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/declarathenv.shtml (дата обращения: 13.11.2022).

22. Доклад Всемирной комиссии по вопросам окружающей среды и развития ООН «Наше общее будущее» [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.un.org/ru/ga/pdf/brundtland.pdf> (дата обращения: 14.11.2022)

23. Европейский механизм пограничной углеродной корректировки – ключевые вопросы и влияние на Россию [Электронный ресурс]. – URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/SKOLKOVO_EneC_RU_CBAM.pdf (дата обращения: 24.11.2022).
24. Завельский Ф.С. ВРЕМЯ и его измерение. – М.: Наука, 1977. – 283 с.
25. Зеленая логистика: концепция минимизации нагрузки на окружающую среду и сохранения планеты для будущих поколений: Материалы междунар. науч.-практ. XII Южно-Российского логистического форума. 14–18 октября 2016 г. – Ростов-на-Дону, 2016. – 438 с.
26. Иванов В.А., Иванова Г.А., Батвенкина Т.В. Оценка эмиссии от лесных пожаров на территории Нижнего Приангарья [Электронный ресурс] // Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты чрезвычайных ситуаций: Сборник трудов конференции (23 апреля 2021 г.). – URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46505361>.
27. Как парниковые газы оказались в Монреальском протоколе? [Электронный ресурс]. – URL: https://www.ozonprogram.ru/biblioteka/publikacii/parnikovie_gazi_v_monrealskom_protokole.
28. Келлер Б.А. Главные типы и основные закономерности в растительности СССР. – 1938. – Т. I. – С. 132–181.
29. Киотский протокол к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата (1998) [Электронный ресурс]. – URL: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/kprus.pdf> (дата обращения: 26.11.2022).
30. Классификация водорода по цвету [Электронный ресурс]. – URL: <https://neftegaz.ru/tech-library/energoresursy-toplivo/672526-klassifika-tsija-vodoroda-po-tsvetu/> (дата обращения: 13.12.2022).
31. Климанов В.А. Климат Северной Евразии в позднеледниковье (в последний климатический ритм). Короткопериодные и резкие ландшафтно-климатические изменения за последние 15000 лет / Отв. ред. А.А. Величко. – М.: ИГ РАН, 1994. – С. 61–83.
32. Кожевников Ю.П. Сосудистые растения бассейна р. Малахай-Тари (Юго-Восток гор Бырранга) // Ботанический журнал. – 1982. – Т. 67, № 10. – С. 1362–1371.
33. Кожевников Ю.П. О связи современной растительности и поверхностных спорово-пыльцевых спектров на Чукотке (бассейн реки Чантальвеергын) // Ботанический журнал. – 1995. – Т. 80, № 5. – С. 74–88.
34. Kozhevnikov Yu.P. Is The Arctic Getting Warmer Or Colder? // Heritage of Russian Arctic. Research, Conservation and International Co-operation. – М.: Ecopros Publishers, 2000. – P. 145–168.
35. Козырев Н.А. Избранные труды. – Л.: ФТИ, 1991. – 455 с.

36. Королевская шведская академия наук [Электронный ресурс]. – URL: https://www.nobelprize.org/uploads/2021/10/fig2_fy_en_21_ManabesClimateModel.pdf (дата обращения 22.12.2022)
37. КС-27: альтернативой адаптации могут быть лишь нищета и голод [Электронный ресурс]. – URL: <https://news.un.org/ru/story/2022/11/1434697> (дата обращения 17.11.2022)
38. Культин Н.Б. Microsoft EXCEL. Быстрый старт. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002. – 197 с.
39. Купецкий В.Н. Тепло арктических полей // Природа. – 1967. – № 7. – С. 82–84.
40. Купецкий В.Н. Незамерзающая вода в замерзающих морях. Человек и стихия. – Л.: Гидрометеиздат, 1970.
41. Купецкий В.Н. Об изменениях климата, ледников и солнечной активности // Труды ААНИИ. – 1970. – Т. 294. – С. 68–86.
42. Купецкий В.Н. Ландшафты замерзающих морей: Тезисы доклада по дисс. д-ра географ. наук. – Певек, 1988. – 35 с.
43. Купецкий В.Н. Ландшафты замерзающих морей: Дисс. д-ра географ. наук. – СПб.: СПбГУ, 1989. – 194 с.
44. Купецкий В.Н. Льды чукотских морей. – Магадан: МАОБТИ, 1997.
45. Левковская Г.М. Современные представления о способах подсчета результатов спорово-пыльцевого анализа четвертичных отложений и построения диаграмм (Краткий обзор) // Проблемы палеогеографии. – Л.: Изд-во Ленинградского ун-та, 1965. – С. 237–258.
46. Левковская Г.М. История голоценового облесения Арктики в свете радиоуглеродных дат // Итоги биостратиграфических, литологических и физических исследований плиоцена и плейстоцена Волго-Уральской области. – 1977. – С. 15–16.
47. Ловелиус Н.В. Изменчивость прироста деревьев. – Л.: Наука, 1979. – 329 с.
48. Ловелиус Н.В. Метеорологические условия Хатанги и сопредельных территорий // ТАЙМЫР. Малочисленные народы. Природные условия. Фауна. – СПб. – Хатанга, 2001 а. – С. 69–84.
49. Ловелиус Н.В. Исследование погодичных и многолетних изменений температуры воздуха в Субарктике Средней Сибири и радиального прироста *Larix gmelinii* на Ары-Масе // Исследование природы Таймыра. – Выпуск 1. Закономерности пространственного размещения и взаимосвязи климата, растительности, почв, животного мира. Ландшафты. – Труды Государственного биосферного заповедника «Таймырский». – Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2001. – С. 50–69.
50. Матвеева Н.В. Зональность в растительном покрове Арктики. – СПб., 1998. – 220 с.

51. Нейштадт М.И., Стеклов Н.А. О некоторых терминах голоцена и его подразделений // Тезисы докладов IX Конгресса ИНКВА. Москва, август 1982 г. – М., 1982. – Т. 3. – С. 233–242.
52. Нейштадт М.И., Тюлина Л.Н. К истории четвертичной и послечетвертичной флоры района р. Майн, притока Анадыря // Труды Арктического института. – Ленинград: Изд-во Главного управления северного морского пути, 1936. – Т. XL. – С. 259–280.
53. Оль А.И. Проявление 22-летнего цикла в климате Земли // Труды АНИИ. – 1969. – Т. 289. – С. 116–131.
54. Оль А.И. 11-летний цикл в атмосферных осадках Западной Сибири // Труды ГГО. – 1979. – Вып. 403. – С. 93–99.
55. Оль А.И. Изменение климата Земли в 22-летнем цикле солнечной активности // Труды ААНИИ. – 1989. – Т. 412. – С. 5–39.
56. Пархоменко Т.В. Развитие экологически чистых технологий в логистике энергорынка региона. Зеленая логистика: концепция минимизации нагрузки на окружающую среду и сохранения планеты для будущих поколений чистых отраслей и технологий РФ: Материалы междунар. науч.-практ. XII Южно-Российского логистического форума. 14–18 октября 2016 г. – Ростов-на-Дону, 2016. – С. 93–99.
57. Пахнин М.А. Экономика изменения климата: Нобелевская премия 2018 года Уильяма Нордхауса // Финансы и бизнес. – 2020. – Т. 16, № 1. – С. 5–22.
58. Петрович А. Канон ледникового периода. Милутин Миланкович и астрономическая теория изменений климата. – СПб.: Нестор-история, 2011. – 132 с.
59. Повестка дня на XXI век [Электронный ресурс]. – URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/agenda21.shtml (дата обращения: 13.11.2022).
60. Повышение температуры еще на полградуса грозит беспрецедентными последствиями: чтобы этого не допустить, нужны беспрецедентные действия [Электронный ресурс]. – URL: <https://news.un.org/ru/story/2018/10/1340132> (дата обращения: 25.11.2022).
61. Пономарёва М.А., Шеховцов Р. В. Национальная технологическая инициатива как инструмент опережающего развития экономики региона (на материалах Ростовской области) // Зеленая логистика: концепция минимизации нагрузки на окружающую среду и сохранения планеты для будущих поколений чистых отраслей и технологий РФ: Материалы междунар. науч.-практ. XII Южно-Российского логистического форума. 14–18 октября 2016 г. – Ростов-на-Дону, 2016. – С. 370–373.
62. Поспелова Е.Б., Поспелов И.Н. Реликтовые высокоствольные кустарниковые сообщества на северном пределе их распространения (Цен-

тральная часть гор Бырранга, Таймыр) // Известия РАН. Сер. Географическая. – 2000. – № 4. – С. 92–97.

63. Поспелова, Е.Б., Поспелов И.Н. Флора сосудистых растений Таймыра и сопредельных территорий. Часть 1. Аннотированный список флоры и ее общий анализ. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2007. – 457 с.

64. Преображенский С.В. Я – Географ. – М.: ГЕОС, 2001. – 292 с.

65. Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития на период до 2030 года [Электронный ресурс]. – URL: https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=R (на русском языке), https://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/70/1&Lang=E (на английском языке) (дата обращения: 13.11.2022).

66. Пятый оценочный доклад (ОД5) МГЭИК: Изменение климата [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ipcc.ch/languages-2/russian/publications-russian>.

67. Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата [Электронный ресурс]. – URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/conventions/climate_framework_conv.shtml.

68. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 29.10.2021 № 3052-р «Об утверждении Стратегии социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года» [Электронный ресурс]. – URL: <http://static.government.ru/media/files/ADKkCzp3fWO32e2yA0BhtIpyzWfHaiUa.pdf> (дата обращения: 24.11.2022).

69. Рио-де-Жанейрская декларация по окружающей среде и развитию [Электронный ресурс]. – URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/riodecl.shtml (дата обращения: 13.11.2022).

70. Родников А.Г., Сергеева Н.А., Забаринская Л.П., Крылова Т.А., Харин Е.П., Шестопапов И.П. Информационное обеспечение геофизических исследований при проведении Международного полярного года 2007–2008 гг. Геология полярных областей Земли // Материалы XLII Тектонического совещания. – М.: ГЕОС, 2009. – Т. 2. – С. 153–155.

71. Савина С.С., Хотинский Н.А. Зональный метод реконструкции палеоклиматов голоцена. Развитие природы территории СССР в позднем плейстоцене и голоцене. – М.: Наука, 1982. – С. 231–244.

72. Система торговли выбросами [Электронный ресурс]. – URL: <https://recycle.kz/ru/parnikovye-gazy> (дата обращения: 24.11.2022).

73. Системы торговли квотами на выбросы парниковых газов в Азиатско-Тихоокеанском регионе [Электронный ресурс]. – URL: https://www.economy.gov.ru/material/file/d8d7071b90d7af3818ec3a836355244f/ETS_%C3%80%C3%92%C3%90.pdf (дата обращения: 24.11.2022).

74. Соколов С.Я., Связева О.А., Кубли В.А. Ареалы деревьев и кустарников СССР. – Л.: Наука. Ленинградское отделение, 1976. – Т. 1.
75. Справочник по климату СССР. – Л.: Гидрометеиздат, 1966. – Вып. 33. – Ч. 2. Температура воздуха и почвы. – 287 с.
76. Стратегия в области изменения климата [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.nornickel.ru/sustainability/climate-change/strategy> (дата обращения: 21.11.2022).
77. Сывороткин В.Л. Глубинная дегазация и глобальные катастрофы. – М.: Геоинформмарк, 2002. – 250 с.
78. Сывороткин В.Л. Экологические проблемы Арктики в связи с ее тектоническим строением // Геология полярных областей Земли: Материалы XLII Тектонического совещания. – М.: ГЕОС, 2009. – Т. 2. – С. 214–217.
79. Сывороткин В.Л., Подгорнова С.Т. Полярные окончания срединно-океанических рифтов Южного полушария // Геология полярных областей Земли: Материалы XLII Тектонического совещания. – М.: ГЕОС, 2009. – Т. 2. – С. 218–221.
80. Указ Президента Российской Федерации от 04.11.2020 № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов» [Электронный ресурс]. – URL: <http://kremlin.ru/acts/bank/45990> (дата обращения: 24.11.2022).
81. Украинцев В.Б. Конкуренция и логистика. – М.: Экспертное бюро, 1999. – 219 с.
82. Украинцева В.В. Цветковые растения – надежные индикаторы и биомониторы состояния окружающей среды // Биотестирование в решении экологических проблем. – СПб., 1991. – С. 87–96.
83. Украинцева В.В. Реконструкция климатов прошлого по палинологическим данным // Известия РАН. Сер. Географическая, 1992. – Т. 6. – С. 90–95.
84. Украинцева В.В. Растительность и климат Сибири эпохи мамонта / Ред. В.Н. Ловелиус, Ю.М. Карбаинов. – Красноярск: Восточно-Сибирский филиал Международного института леса, 2002. – 192 с.
85. Украинцева В.В. Метод реконструкции климатов прошлого и прогнозирования климата в будущем на основании данных метода спорово-пыльцевого анализа // Общество. Среда. Развитие. – 2008. – № 3. – С. 142–154.
86. Украинцева В.В., Поспелов И.Н. О связях состава растительности и состава спорово-пыльцевых спектров поверхностных проб (устье реки Оленья, полуостров Таймыр) // Известия РАН. Сер. Географическая. – 2006а. – № 3. – С. 97–109.
87. Украинцева В.В., Поспелов И.Н. Первые данные к истории растительности и климата в северной части Анабарского нагорья в голоцене // География и природные ресурсы. – 2006б. – № 3. – С. 87–94.

88. Украинцева В.В., Поспелов И.Н. Первые данные об истории и эволюции растительного покрова и климата севера Анабарского нагорья в голоцене // Исследование природы Таймыра. – Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2006в. – Вып. 5. Четвертичная история, климат, почвы, флора и растительность, животный мир. – С. 19–35.

89. Украинцева В.В., Поспелов И.Н. Биостратиграфические свидетельства об экстремальных наводнениях в голоцене: полуостров Таймыр, Россия // Фундаментальные проблемы квартера: итоги изучения и основные направления дальнейших исследований: Материалы V Всерос. совещания по изучению четвертичного периода. Москва, 7–9 ноября 2007 г. – М.: ГЕОС, 2007. – С. 424–427.

90. Украинцева В.В., Соколов В.Т. Спорово-пыльцевой анализ снега из района Северного Полюса Земли // Известия РАН. Сер. Географическая. – 2006. – № 6. – С. 61–63.

91. Украинцева В.В., Соколов В.Т., Кузьмин С.Б., Висневский А.А. Исследование проб снежного покрова и воздушных масс методом спорово-пыльцевого анализа из района Северного полюса Земли // Геология полярных областей Земли: Материалы XLII Тектонического совещания. – М.: ГЕОС, 2009. – Т. 2. – С. 252–253.

92. Украинцева В.В., Украинцев В.Б. Климат Земли. В прошлом, настоящем и будущем. – СПб.: Астерион, 2017. – 143 с.

93. Украинцева В.В., Украинцев В.Б. Теплые зимы на планете Земля, их роль для понимания причин распространения пандемии COVID-19 // Эковестник. – 02/2020. – С. 84-89.

94. Украинцева В.В. Флора, растительность и природные условия Сибири позднем Антропогене (по результатам исследований содержимого кишечных трактов ископаемых животных и вмещающих их отложений): Автореф. д-ра биол. наук. 03.00.05 – Ботаника; 11.00.04 – Палеогеография. – Киев: Институт Ботаники им. Н.Г. Холодного, 1988. – 47 с.

95. Ученые сообщили результаты многолетних исследований таежных пожаров [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.sbras.info/articles/prosto-o-slozhnom/uchenye-obobschili-rezultaty-mnogoletnikh-issledovaniy-taezhnykh> (дата обращения: 25.11.2022).

96. Федоров Б.Г. Российский углеродный баланс: Монография. – М.: Научный консультант, 2017. – С. 76.

97. Федько В.П., Украинцев В.Б., Мурсалов А.В. Управление комплексом маркетинговых коммуникаций в строительстве. – М.: Наука-Пресс, 2007. – 208 с.

98. Хохлов А.А. Алгоритм построения системы импортозамещения в производственной сфере // Зеленая логистика: концепция минимизации нагрузки на окружающую среду и сохранения планеты для будущих поколений чистых отраслей и технологий РФ: Материалы междунар. науч.-

практ. XII Южно-Российского логистического форума. 14–18 октября 2016 г. – Ростов-на-Дону, 2016. – С. 420–423.

99. Хуторской М.Д., Подгорных Л.В., Леонов Ю.Г., Ермаков А.В., Ахмедзянов В.Р. Геотермия Арктического бассейна: проблемы и решения // Геология полярных областей Земли: Материалы XLII Тектонического совещания. – М.: ГЕОС, 2009. – Т. 2. – С. 275–279.

100. Цель 13: Принятие срочных мер по борьбе с изменением климата и его последствиями [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/climate-change> (дата обращения: 13.12.2022).

101. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств. – СПб.: Мир и семья – 95, 1995.

102. Шалмина Г.Г. Предпроектное обоснование прогнозирования экономики. – Новосибирск: НГОНБ, 2010.

103. Шалмина Г.Г., Каймина К.В. Природный рекреационный потенциал – основа развития лечебно-профилактической маршрутной деятельности (методический под ход к оценке). – Новосибирск, 2006.

104. Шалмина Г.Г. Прикладное прогнозирование экономики рационально-сбалансированного природопользования. – М.: Горячая линия – Телеком, 2015. – 281 с.

105. Шрайбер В.М. Из истории исследований парникового эффекта земной атмосферы // Биосфера. – 2013. – Т. 5, № 1. – С. 37–46.

106. Шумилова Л.В. Ботаническая география Сибири. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1962. – 439 с.

107. Эволюция науки о климате – Точка зрения Джулии Слинго [Электронный ресурс]. – URL: <https://public.wmo.int/ru/resources/bulletin> (дата обращения: 26.11.2022).

108. Ямпольский К.П. Строение осадочного слоя акватории архипелага Шпицберген по сейсмическим данным // Геология полярных областей Земли. Материалы XLII Тектонического совещания. – М.: ГЕОС, 2009. – Т. 2. – С. 332–336.

109. Ямских Г.Ю. Реконструкция растительности и климата голоцена внутриконтинентальных территорий Приенисейской Сибири: Автореф. дис. д-ра географ. наук. – Барнаул, 2010. – 31 с.

110. Abreu, J.A., Beer J., Ferriz-Mas A., McCracken K.G., Steinhilber F. Is there a planetary influence on solar activity? // *Astronomy & Astrophysics*. – 2012. – 548 p.

111. ACIA Scientific Report. – Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

112. Ammann C., Waple A. History, Status and Prediction of Global Climate Change // *Climate Change, Human Systems, and Policy* / Ed. by A. Yotova. – 2009. – Vol. 1.

113. Arsenovic' P. The Influence of Spectral Solar Irradiance and Energetic Particles Precipitation on the Climate: DIS. ETN № 24362. – Zurich, 2017.
114. Avakyan S.V. The Role of Solar Activity in the Global Warming Process. – Pleiades Publishing, Ltd. – 2013. – Vol. 83, № 5. – P. 425–436.
115. Barry R.G., Hall-McKim E.A. Essentials of the Earth's Climate System. – New York: Cambridge University Press, 2014.
116. Barry R.G., Gan Th.Y. The Global Cryosphere: Past, Present and Future. – Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2011.
117. Beer J. Solar Forcing – a new PAGES Working Group // PAGES News. – 2012. – Vol. 20, № 2. – December. – P. 91.
118. Beer J. The Sun and Its role in the climate change. Workshop of the PAGES Solar Working group – Davos, Switzerland, 5–7 September 2012 // PAGES news. – 2013. – Vol. 21, № 2. – August. – P. 86.
119. Beer J. Constraining Holocene solar forcing by «detection and attribution» // PAGES MAGAZINE. – 2014. – Vol. 22, № 2. – October. – P. 112.
120. Beer J., McCracken K.G., von Steiger R. Cosmogenic Radionuclides: Theory and Applications in the Terrestrial and Space Environments. – Springer, Berlin-Heidelberg, 2012. – 426 p.
121. Bradley R.S. What do the Holocene paleoclimate records tell us about solar forcing? [Электронный ресурс]. – URL: <ftp://ftp.pmindwrc.ch>.
122. Bradley R.S. Paleoclimatology: Reconstructing Climates of the Quaternary // ELSEVIER. – 2015. – 674 p.
123. Centre for Research on Energy and Clean Air (CREA). 11,000 air pollution-related deaths avoided in Europe as coal, oil consumption plummet. 30 April 2020 [Электронный ресурс]. – URL: <https://energyandcleanair.org/air-pollution-deaths-avoided-in-europe-as-coal-oil-plummet>.
124. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4-wg1-chapter2-1.pdf> (дата обращения: 21.11.2022).
125. Climate Watch. Historical GHG Emissions [Электронный ресурс]. – URL: https://www.climatewatchdata.org/ghg-emissions?breakBy=regions&chartType=area&end_year=2019®ions=WORLD&start_year=1990.
126. COHMAP Members. Climatic changes of the last 18,000 Years: Observations and Model Simulations. Science. – Vol. 241. – P. 1043–1052.
127. Decision / CP.27. Sharm el-Sheikh Implementation Plan [Электронный ресурс]. – URL: https://unfccc.int/sites/default/files/resource/cop27_auv_2_cover%20decision.pdf (дата обращения: 11.12.2022).
128. Emissions Gap Report 2021 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2021> (дата обращения: 28.11.2022).

129. Emissions Gap Report 2022 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.unep.org/resources/emissions-gap-report-2022> (дата обращения: 28.11.2022).
130. Erdtman G. The acetolysis tekhnick. A revised description // Svensk. Bot. Tidskr. – 1960. – Vol. 54. – P. 561–564.
131. Erdtman's Handbook Of Palynology. – 2nd ed. – Munksgaard: Copenhagen, 1992.
132. EU Emissions Trading System (EU ETS) [Электронный ресурс]. – URL: https://climate.ec.europa.eu/eu-action/eu-emissions-trading-system-eu-ets_en (дата обращения: 24.11.2022).
133. Fegri K., Iversen Jh. Textbook of pollen analysis. – 4th ed. – Hafner, New York, 1989. – 328 p.
134. Fit for 55 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.consilium.europa.eu/en/policies/green-deal/fit-for-55-the-eu-plan-for-a-green-transition/#what>.
135. Hays J.D., Imbrie J., Shackleton N.J. Variations in the Earth's Orbit: Pacemaker of the Ice Ages // Science. – 1976. – № 194 (4270). – P. 1121–1132.
136. Hicks S., Ammann B., Latalowa M., Pardoe H., Tinsley H. (eds.) European Pollen Monitoring Programme: Project description and guidelines. – Oulu, 1996. – 28 p.
137. Imbrie J., Imbrie K.P. ICE AGES. Solving the Mistery. – Hillside, New Jersey, 1979 [Имбри Д., Имбри К.П. Тайны ледниковых эпох. Полтора века в поисках разгадки / Пер. с англ. ; Под ред. Г.А. Авсюка. – М.: Прогресс, 1988].
138. Information Brief on SDG Acceleration Actions [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.uneca.org/sites/default/files/TCND/arfsd2022/sdg/information%20brief%20on%20sdg%20acceleration%20actions.pdf> (дата обращения: 15.11.2022).
139. IPCC. Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change. Working Group III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Электронный ресурс]. – URL: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg3/downloads/report/IPCC_AR6_WGIII_FullReport.pdf (дата обращения: 21.11.2022).
140. Johannesburg Declaration on Sustainable Development // UN Department of Economic and Social Affairs Division for Sustainable Development [Электронный ресурс]. – URL: https://www.un.org/esa/sustdev/documents/WSSD_POI_PD/English/POI_PD.htm (дата обращения: 14.8.2020) [Йоханнесбургская декларация по устойчивому развитию [Электронный ресурс]. – URL: https://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/decl_wssd.shtml (дата обращения: 14.11.2022)].

141. Kukla G., Boreas I. *Nature*. – London, 1972. – № 253; – 1975. – № 600.
142. Lean J., Beer J., Bradley R. Reconstruction of solar irradiance since 1610: Implication for climate change // *Geophysical Research Letters*. – 1995. – Vol. 22, № 23. – December. – P. 3195–3198.
143. Lee H. How Earth’s Climate Changes Naturally (and Why Things Are Different Now) [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.quantamagazine.org/how-earths-climate-changes-naturally-and-why-things-are-different-now-20200721> (дата обращения: 21.11.2022).
144. Lockwood M. Reconstruction and Prediction of Variations in the Open Solar Magnetic Flux and Interplanetary Conditions [Электронный ресурс] // *Living Rev. Solar Phys.* – 2013. – Vol. 10, № 4. – URL: <http://www.livingreviews.org/lrsp-2013-4>.
145. Lockwood M., Owens M.J., Barnard L., Davis C.J., Thomas S. Solar cycle 24: What is the Sun up to? // *Astron. Geophys.* – 2012. – Vol. 53, № 3.09-3.15.
146. OECD. Effective Carbon Rates 2021 [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.oecd.org/tax/tax-policy/effective-carbon-rates-2021-brochure.pdf> (дата обращения: 24.11.2022).
147. Paris Agreement [Электронный ресурс]. – URL: https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf.
148. Report of the World Commission on Environment and Development: Our Common Future [Электронный ресурс]. – URL: <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5987our-common-future.pdf> (дата обращения: 15.11.2022).
149. Rind D. The Sun’s role in climate variations // *Science*. – 2005. – № 296. – P. 673–677.
150. Sachs J., Schmidt-Traub G., Kroll C., Laforune G., Fuller G. Sustainable Development Report 2019. – New York: Bertelsmann Stiftung and Sustainable Development Solutions Network (SDSN), 2019.
151. Schatten K., Scherrer P.H., Svalgaard L., Wilcox. Using dynamo theory to predict the sunspot number during solar cycle 21 // *Geophys. Res. Lett.* – 1978. – Vol. 5. – P. 411–414.
152. Serreze M.C., Barry R.G. *The Arctic Climate System*. – Cambridge: Cambridge University Press. – 2005. – P. 374.
153. Shackleton N.J. *The Phanerozoic Time-Scale* (Geological Society – London, 1971. – Vol. 1. – P. 35–38.
154. Shulmeister J., Rodbell D.T., Gagan M.K., Seltzer G.O. Inter-hemispheric linkage in climate changes: paleo-perspectives for future climate change [Электронный ресурс] // *Clim. Past Discuss.* – 2006. – № 2. – P. 79–122. – URL: www.clim-past-discuss.net/2/79/2006.

155. Shvartsman Yu.G. Geotermical regime and tectonic of lithosphere of European sector of the Arctic // *Geology of the polar regions of the Earth: Materials of 42nd Tectonic Conference*. – M.: GEOS, 2009. – Vol. 2. – P. 304–308. (Russian).

156. Solanki S.K., Usoskin I.G., Kromer B., Schssler M., Beer J. Unusual activity of the Sun during recent decades to the previous 11,000 years // *Nature*. – 2004. – № 431. – P. 1084–1087.

157. Statista. Carbon Taxes Worldwide as of April 2021, by select countries [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.statista.com/statistics/483590/prices-of-implemented-carbon-pricing-instruments-worldwide-by-select-country> (дата обращения: 24.11.2022).

158. Steinhilber F., Abreu J.A., Beer J., Brunner I., Christl M., Fischer H., Heikkila U., Kubik P.W., Mann M., McCracken K.G., Miller H., Miyahara H., Oerter H., Wilhelms F. 9,400 years of cosmic radiation and solar activity from ice cores and tree rings // *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. – 2012. – № 109. – P. 5967–5971.

159. Sustainable Development Outlook 2020. Achieving SDGs in the Wake of COVID-2019: Scenarios for Policymakers. United Nations Department of Economic and Social Affairs, 2020 [Доклад о Целях в области устойчивого развития, 2020 год, Организация Объединенных Наций [Электронный ресурс]. – URL: <https://unstats.un.org/sdgs/report/2020/> (дата обращения 20.12.2022)].

160. Syvorotkin V.L. Deep degassing and global catastrophes. – M.: Geoinformmark, 2002. – 250 p. (Russian).

161. Syvorotkin V.L. Ecological problems of the Arctic in connection with its tectonic structure // *Geology of the polar regions of the Earth: Materials of 42nd Tectonic Conference*. – M.: GEOS, 2009. – Vol. 2. – P. 214–217. (Russian).

162. Syvorotkin V.L., Podgornova S.T. Polar terminations of the medial oceanic rifts of the southern semi-sphere // *Geology of the polar regions of the Earth: Materials of 42nd Tectonic Conference*. – M.: GEOS, 2009. – Vol. 2. – P. 218–221. (Russian).

163. The Sustainable Development Agenda [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/development-agenda> (дата обращения: 14.11.2022).

164. Tukhanen S. Climatic Parameters and Indices in Plant Geography. – 1980.

165. Ukraintseva V. The Climate of the Taymyr Peninsula in the Holocene and Forecast of the Climate Change in the Arctic // *Geophysical Research Abstracts. EGU General Assembly*. – EGU 2009–4185. – 2009. – Vol. 11.

166. Ukraintseva V., Pospelov, I. Biostratigraphic and Geochronological Evidences of Floods in the Holocene: the South-East of the Taimyr Peninsula,

Russia // Geophysical Research Abstracts. EGU General Assembly. – EGU 2009-4147-1. – 2009. – Vol. 11.

167. Ukraintseva V.V. Vegetation Cover and Environment of the «Mammoth Epoch» in Siberia / Ed. by L. Agenbroad, J. Mead, R. Hevly. – The Mammoth Site, SD, 1993. – P. 61.

168. Ukraintseva V.V. Use of the index of similarity for the assessment of fossil spore-pollen spectra, 2005 [Современные проблемы палеофлористики, палеофитогеографии и фитостратиграфии // Труды Международной палеоботанической конференции. Москва, 17–18 мая 2005 г. – М.: ГЕОС. – Вып. 1. – С. 314–318].

169. Ukraintseva V.V., Pospelov I.N. The first data on the history and evolution of vegetation and climate in the northern part of the Anabar Plateau in the Holocene [Современные проблемы палеофлористики, палеофитогеографии и фитостратиграфии // Труды Международной палеоботанической конференции. Москва, 17–18 мая 2005 г. – М.: ГЕОС, 2005. – Вып. 1. – С. 319–324].

170. Ukraintseva V.V., Sokolov V.T., Kuz'min S.B., Visnevskiy A.A. Investigation of snow cover and an air of atmosphere in the vicinities of North Pole using the pollen analysis method // Polar Geography. – 2009. – Vol. 32. – Issue 3. – P. 143–152.

171. Ukraintseva V.V., Kultin N.B. Pollen Analysis and Environment // Global Journal of Botanical Sciences. – 2015. – Vol. 3. – P. 1–8.

172. Ukraintseva V.V., Sokolov V.T. Pollen analysis of snow samples from the North Pole region // Polar Geography. – 2003. – Vol. 27, № 3. – P. 268–271.

173. Ukraintseva V.V., Pospelov I.N. Biostratigraphic evidences of extreme floods in the Holocene: south-east of the Taymyr Peninsula, Russia // Polar Geography. – 2010. – Vol. 33. – Issue 3&4. – September. – P. 87–99.

174. United Nations. Prototype Global Sustainable Development Report. – New York: United Nations Department of Economic and Social Affairs, Division for Sustainable Development, 2014.

175. Ukraintseva V.V. Mammoths and the Environment [Электронный ресурс]. – Cambridge: Cambridge University Press, 2013. – URL: www.cambridge.org/9781107027169 66.

176. Yampolskiy K.P. Structure of deposit layer of water around of the Spitsbergen Arkhipilago on seismic data // Geology of the polar regions of the Earth:

Materials of 42nd Tectonic Conference. – М.: GEOS, 2009. – Vol. 2. – P. 332–336. (Russian)

АВТОРЫ

Альбеков Адам Умарович, доктор экономических наук, профессор, Президент Ростовского государственного экономического университета (РИНХ), Заслуженный деятель науки РФ.

Автор более 30 работ в области зеленой экономики и устойчивого развития.

Украинцева Валентина Васильевна, профессор, доктор биологических наук, сотрудник Ботанического института РАН, специалист в области палинологии. Впервые представила науке уникальные методы реконструкции окружающей среды и климата прошлого Земли с прогнозами на будущее и внесла большой вклад в изучение Арктического региона.

Автор более 110 научных работ.

Украинцев Вадим Борисович, профессор, доктор экономических наук, заведующий кафедрой экономической безопасности Ростовского государственного экономического университета (РИНХ).

Автор более 50 научных работ в области климатических изменений, достижения устойчивого развития, экономической безопасности.

Научное издание

КЛИМАТ ЗЕМЛИ И УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ: ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ

Монография

**Альбеков Адам Умарович,
Украинцева Валентина Васильевна,
Украинцев Вадим Борисович**

Редактура, корректура, верстка *Терещенко Э.В.*

Изд. № 53/4177. Подписано в печать 10.05.2023.

Формат 60×84/16. Объем 7,5 уч.-изд. л., 11,0 усл. печ. л.

Бумага офсетная. Печать цифровая. Гарнитура Times New Roman.

Заказ № 108. Тираж 500 экз.

344002, Ростов-на-Дону, ул. Большая Садовая, 69, РГЭУ (РИНХ), к. 152

Издательско-полиграфический комплекс РГЭУ (РИНХ)

Тел.: (863) 261-38-77