

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
имени М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

Леднев Сергей Анатольевич

**Пирогенная динамика растительности северных
пустынь Центрального Казахстана**

1.6.12. Физическая география и биогеография, география почв
и геохимия ландшафтов

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата географических наук

Москва – 2026

Диссертация подготовлена на кафедре биогеографии географического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.

**Научный
руководитель:**

Огуреева Галина Николаевна –
доктор географических наук,
профессор

**Официальные
оппоненты:**

Сафронова Ирина Николаевна –
доктор биологических наук, старший
научный сотрудник, Ботанический
институт имени В.Л. Комарова РАН,
лаборатория общей геоботаники,
ведущий научный сотрудник

Новикова Нина Максимовна – доктор
географических наук, профессор,
Институт водных проблем РАН,
лаборатория динамики наземных
экосистем под влиянием водного
фактора, главный научный сотрудник

Бармин Александр Николаевич –
доктор географических наук,
профессор, Астраханский
государственный университет
имени В.Н. Татищева, факультет наук о
Земле, химии и техносферной
безопасности, кафедра экологии,
землеустройства и безопасности
жизнедеятельности, профессор

Защита состоится «9» апреля 2026г. в 17 часов 00 минут на заседании диссертационного совета МГУ.016.9 Московского Государственного Университета имени М.В. Ломоносова по адресу: 119991, г. Москва, Ленинские горы, д. 1, Главное здание МГУ, географический факультет, 18-й этаж, ауд. 1807.

E-mail: dissovetmsu016.9@yandex.ru

С диссертацией можно ознакомиться в отделе диссертаций научной библиотеки МГУ имени М.В. Ломоносова (Ломоносовский просп., д. 27) и на сайте АИС «Диссовет»: <https://dissovet.msu.ru/dissertation/3819>

Автореферат разослан «__» марта 2026 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат географических наук



М.А. Смирнова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования и степень её разработанности.

Пирогенное воздействие – один из важнейших факторов, влияющих на растительные сообщества по всему миру. При этом исторически большее внимание всегда уделялось лесным пожарам; для них разработаны подробные сукцессионные схемы, выделены классы пожароопасности и т.д. Пирогенная динамика аридных сообществ, в т.ч. степей и пустынь, изучена меньше, хотя установлена высокая значимость этого фактора для растительного покрова аридных территорий, эволюция которых происходила под влиянием периодических пожаров. Большинство исследований пирогенной динамики аридных территорий Евразии посвящено степным сообществам; информации о пирогенной динамике сообществ северных пустынь, также регулярно подвергающихся воздействию огня, крайне мало.

Большая часть подзоны северных пустынь расположена на территории Республики Казахстан и достаточно изучена в ботанико-географическом плане, однако публикации, посвящённые их динамике, крайне немногочисленны. Исследования трансформации пустынных сообществ под влиянием огня и сроков их самовосстановления важны в свете проблемы деградации и восстановления экосистем, актуальной для регионов Центральной Азии.

Общие вопросы структуры и классификации растительного покрова степей и пустынь СССР были освещены в работах Е.М. Лавренко (1940, 1962), Е.П. Коровина (1961), А.В. Прозоровского (1940), Л.Е. Родина (1958) и др. Растительному покрову Центрального Казахстана посвящены монографии З.В. Карамышевой и Е.И. Рачковской (1973) по степной части Казахского мелкосопочника и З.В. Кубанской (1956) по пустыне Бетпак-Дала. Многолетний труд по инвентаризации и систематизации данных о растительном покрове пустынной зоны привёл к созданию «Карты растительности пустынь Средней Азии и Казахстана (м. 1:2 500 000)» (Растительность Казахстана..., 1995) и сопутствующей монографии «Ботаническая география Казахстана и Средней Азии (в пределах пустынной области)» (2003). Среди исследований по динамике аридной растительности Казахстана следует отметить работы В.И. Иванова (1958), Л.Я. Курочкиной (Курочкина, Кузнецов, 1991; Курочкина, 2015), Л.А. Димеевой (2011). Обобщающие работы, посвящённые пирогенной динамике северных пустынь, нам не известны; отдельные работы касаются взаимосвязи пастбищной и пирогенной динамики в южной части степной зоны в Северном Казахстане (Dara et al., 2020), а также в

пустынной зоне юга России (Маштыков, Бадмаев, 2005; Аюшева, 2014; Рябинина, 2018; Klink et al., 2024, и др.).

Особая форма техногенного воздействия на экосистемы Центрального Казахстана – падение отделяющихся частей ракет-носителей, запускаемых с космодрома Байконур; при этом на экосистемы оказывается механическое (удар, взрыв), химическое (проливы топлива), термическое и пирогенное (возгорания) воздействие. Этому виду воздействия на пустынные экосистемы посвящена серия публикаций коллектива географического факультета МГУ им. Ломоносова под руководством Т.В. Королевой («Экологическая безопасность...», 2012; Koroleva et al., 2018, и др.).

Цель и задачи работы. *Цель работы* – оценить пирогенную динамику экосистем северных пустынь в Улытауской области Центрального Казахстана.

Для достижения цели поставлены следующие *задачи*:

- выявить на основе эколого-фитоценотической классификации разнообразие и распространение экосистем северных пустынь в Улытауской области Республики Казахстан;
- выявить стадии пирогенной сукцессии сообществ формации белоземельной полыни (*Artemisieta terrae-albae*) в районе исследования;
- построить пирогенно-сукцессионные ряды сообществ формации белоземельной полыни на разных типах почв и провести их сравнительную характеристику;
- разработать единую схему пирогенной динамики для эпиформации белоземельной полыни на основе теории геосистем В.Б. Сочавы.

Объекты и методы исследования. Для построения сукцессионных рядов использованы геоботанические описания, собранные в районах падения фрагментов ракет-носителей (зоны Ю24 и Ю25) в южных отрогах хр. Улытау с 2014 по 2025 г. (231 описание). Описания выполнены на площадках 100 м² по стандартным методикам. Обработка данных проведена с использованием геоботанических, картографических и сравнительно-географических методов. Определение роли видов на разных стадиях сукцессии проведено с использованием ценологических показателей (встречаемость, проективное покрытие, активность видов). Ретроспектива пирогенного воздействия для каждого описания определена при помощи дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) по данным Landsat с 1984 г. Динамика сообществ в ходе сукцессии охарактеризована с использованием непараметрической статистики и непрямой ординации (NMDS).

Методологическая основа работы – концепция эколого-динамической классификации растительности В.Б. Сочавы (1972). Построение классификации растительности исходит из понимания ассоциации как динамической системы (эпиассоциации), объединяющей коренное и многочисленные переменные состояния растительности. Система взаимосвязанных эпиассоциаций составляет эпиформацию.

Научная новизна. Проведена инвентаризация ценотического разнообразия растительности северных пустынь Улытауской области Республики Казахстан по данным материалов автора и составлена их эколого-ценотическая классификация.

Выявлены особенности влияния пожаров на параметры растительных сообществ (флористическая насыщенность, проективное покрытие, встречаемость и активность видов) северных пустынь, обосновано выделение стадий пирогенных сукцессий, в том числе в районах падения фрагментов ракет-носителей в Улытауской области.

Впервые составлены пирогенно-сукцессионные ряды для сообществ формации белоземельной полыни на разных типах почв и обобщенная схема ее эпиформации для северных пустынь Центрального Казахстана.

Защищаемые положения:

1. Ценотическое разнообразие северных пустынь в районе исследования представлено 23-мя ассоциациями, которые относятся к пяти полынным, трем многолетнесолянковым формациям и одной формации ксерофитных кустарников; преобладают по площади сообщества формации белоземельной полыни (*Artemisieta terrae-albae*), включающей 8 ассоциаций;

2. В пирогенной сукцессии сообществ белоземельнополынной формации на основе ценотических показателей выделены 5 стадий: злаково-однолетниковая, полынно-злаково-рогачёвая, становление полынной синузии, полынное сообщество, коренное сообщество.

3. Для ассоциаций белоземельнополынной формации выявлены три сукцессионных ряда на бурых пустынных почвах, бурых пустынных солонцеватых почвах и солонцах пустынных. Наибольшее разнообразие сообществ характерно для первой стадии, в ходе сукцессии биоразнообразие снижается и приближается к коренному состоянию.

4. Составлена единая схема пирогенной динамики эпиформации белоземельной полыни как системы коренных и производных сообществ. В целом для системы эпиформации набор характерных стадий ассоциаций постоянен, что способствует сохранению флороценотического разнообразия северных белоземельнополынных пустынь.

Теоретическая и практическая значимость. Материалы работы о ходе пирогенных сукцессий северных пустынь восполняют пробел в представлениях о воздействии огня на аридные сообщества и могут быть востребованы при последующем изучении пирогенной динамики туранских пустынь. Практическая значимость связана с возможностью мониторинга состояния экосистем северных пустынь для выработки мер по восстановлению и сохранению их биоразнообразия, для оценки пожароопасности аридных территорий. Сведения о сукцессионной динамике пустынных сообществ востребованы в программах по восстановлению экологического потенциала пустынных ландшафтов и соответствуют целям устойчивого развития.

Исследования адаптации растительности к пирогенному воздействию в районах падения фрагментов ракет носителей важны для оценки состояния территорий как объектов накопленного вреда, поскольку после окончания срока аренды космодрома Байконур (2050 г.) планируется возврат арендованных территорий. Созданы базы данных по пирогенному воздействию на экосистемы северных пустынь, связанному с пусками ракет-носителей. Часть результатов реализована и реализуется в грантах РФФИ 20-77-10010 «Пирогенная метка суббореальных пустынь Евразии» (2020-2023 гг.) и 25-74-20011 «Технобиогеномы объектов накопленного экологического вреда ракетно-космической техники» (2025-2028 гг.).

Материал диссертации востребован в учебном процессе в курсах фитоценологии, ботанической географии и экологии, служит ресурсом для расширения имеющихся знаний по экологии растений и общей экологии.

Личный вклад. Автор производил сбор части исходных данных (84% описаний). Также автор участвовал в проекте РФФИ «Пирогенная метка суббореальных пустынь Евразии» (2020-2023 гг.), в котором обработаны данные ДЗЗ о пирогенном воздействии на территории района исследования. Определение видовой принадлежности части растений выполнено совместно с В.И. Ивлевым (Жезказганский ботанический сад, г. Жезказган, Казахстан) в 2018-2023 гг. Остальная часть работы выполнена автором самостоятельно.

Степень достоверности. Достоверность полученных результатов обеспечивается большим объёмом фактического материала и сходимостью с фондовыми и литературными материалами. Обработка результатов произведена в соответствии с широко применяемыми опубликованными методиками. Основные результаты опубликованы в рецензируемых изданиях, индексируемых в базе ядра Российского

индекса научного цитирования «eLibrary Science Index», и прошли обсуждение в докладах на международных и российских научных конференциях.

Апробация работы. Материалы, лёгшие в основу диссертации, были представлены на конференциях: 13-я Международная ландшафтная конференция «Современное ландшафтно-экологическое состояние и проблемы оптимизации природной среды регионов» (Воронеж, 2018), 18-я Всероссийская Открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса» (Москва, 2020); Mediterranean Geosciences Union Annual Meeting 2021» (Стамбул, 2021); VII Российском совещании по глинам и глинистым минералам глины-2025 (Томск, 2025) в докладе: «Технобиогеомы объектов накопленного экологического вреда космодрома Байконур».

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 научных работ, из них 8 – в базе ядра Российского индекса научного цитирования «eLibrary Science Index», из них 4 статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ. Методика эколого-ценотического анализа пирогенных сукцессий аридных сообществ была опробована в статье (Klink et al., 2024), вклад автора 40%. Применение данных ДЗЗ для установления сроков и частоты пожаров в районе исследования было апробировано в публикациях (Karpachevskiy et al., 2021), вклад автора 20%, и (Lednev et al., 2025), вклад автора 90%. Анализ пирогенного воздействия в районе исследования, в том числе с позиции дальнейшего восстановления растительности, приведены в публикациях (Koroleva et al., 2018), вклад автора 15%, (Lednev et al., 2018), вклад автора 80%. Динамика показателей пирогенно-трансформированных сообществ в ходе сукцессии опубликованы в статьях (Lednev et al., 2021), вклад автора 95%, и (Lednev et al., 2023), вклад автора 95%. Часть литературного обзора, посвящённая динамике аридной растительности, опубликована в статье (Lednev, 2023), вклад автора – 100%.

Структура и объём работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения и приложения; объём составляет 200 страниц, в том числе 9 страниц приложения. Работа включает 60 рисунков и 19 таблиц. Список литературы насчитывает 198 наименований, из них 60 на иностранном языке

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Природные условия и ботанико-географическая характеристика северных пустынь Северотуранской провинции

Район исследования находится в северных пустынях в юго-западных отрогах Казахского мелкосопочника; эта территория рассматривается в составе Северотуранской провинции Ирано-Туранской подобласти Сахаро-Гобийской пустынной области (Лавренко, 1962). Северотуранская провинция простирается от возвышенности Ергени в Прикаспии и охватывает часть территории Казахстана до оз. Алаколь на востоке. Район исследования расположен в Центрально-Северотуранской подпровинции северных пустынь и главным образом относится к Присарысуйскому ботанико-географическому округу; западная часть района затрагивает также Карсакпайский округ (Рачковская, Сафронова, 1992; Сафронова, 2010).

В главе охарактеризованы природные условия Центрально-Северотуранской подпровинции с акцентом на район исследования, границы которого приведены в разделе «Материалы и методы». На территории района, в соответствии с Ландшафтной картой СССР (1988), в различном процентном соотношении представлены аридно-денудационные пластовые равнины, эрозионно-денудационный мелкосопочник (пенеплен) и эрозионно- и аридно-денудационный (типичный) мелкосопочник. Климат региона г. Жезказган, в окрестностях которого расположен район исследования, характеризуется как экстрааридный, с сильным дефицитом осадков и значительными перепадами температур в течение суток, сезона и года, малоснежный в зимнее время. Район исследования относится к Жезказганскому всхолмлённому району бурых пустынных почв с комплексами солонцов (Государственная почвенная карта СССР, 1962; Ботаническая география..., 2003). Флора района исследования по состоянию на 2025 год насчитывает более 220 видов сосудистых растений; среди ценозообразующих видов преобладают *Artemisia terrae-albae*, *A. sublessingiana*, *A. pauciflora*, *Salsola arbusculiformis*, *Atriplex cana*, *Anabasis salsa* и др. В растительном покрове преобладают полынные и многолетнесолянковые пустыни.

Глава 2. Пожары как фактор воздействия на аридные экосистемы

Пожарный (пирогенный) фактор часто рассматривают как неотъемлемую составляющую функционирования многих аридных экосистем, влияющую на ландшафты, прежде всего на растительный покров и животный мир (Лавренко, 1940; Иванов, 1958; Тишков, 2003).

Огонь как фактор среды характеризуется: 1) высокой интенсивностью воздействия на биоту; 2) “внезапностью” (случайным характером возникновения пожара и нередко нерегулярностью событий); 3) краткосрочностью оказываемого воздействия (Исаков и др., 1986).

По сравнению с лесными сообществами фитоценозы безлесных аридных территорий значительно чаще подвергаются воздействию огня (Павлейчик, 2015; Шинкаренко и др., 2021, 2022, и др.). Важная особенность пожаров аридных сообществ – высокая скорость распространения огня. Продолжительная история пирогенного воздействия в аридных травяных экосистемах позволяет рассматривать их как сообщества, в различной степени адаптированные к воздействию пожаров; пирогенный фактор играет важную роль в их сохранении (Исаков и др., 1986; Степные пожары..., 2015).

Пожары приводят к кратковременным и долговременным изменениям в свойствах почв. К кратковременным можно отнести рост электропроводности и рН, снижение общего углерода (Fontúrbel et al., 2012; Muñoz-Rojas et al., 2016); к долговременным – рост содержания растворимых солей после пожаров вследствие усиления испарения с поверхности почвы (Борзунов, Гуров, 2012; Valkó et al., 2016).

Влияние пожара на микробиоту почв изучено слабо; в целом известно, что бактерии более устойчивы к огню, нежели почвенные грибы (Pressler et al., 2018), вследствие чего биоразнообразие первых после пожаров увеличивается, а вторых – уменьшается (Mino et al., 2021). Уязвимость растений к пожарам изменяется от низкой (плотнoderновинные злаки, эфемероиды-геофиты, эфемеры, галофиты) и умеренной (стержнекорневые травянистые многолетники) до высокой (полукустарнички (*Artemisia*, *Bassia*) и кустарнички (часть видов *Salsola*) (Чабовский, Неронов, 2003; Аюшева, Джапова, 2012; Степные пожары..., 2015). Предполагается, что последствия пирогенного воздействия в пустынях выражены сильнее, чем в злаковых степях (Исаков и др., 1986).

В Центральном Казахстане уникальная форма техногенного воздействия на экосистемы – пуски ракет-носителей (РН) с космодрома Байконур. На местах падения ступеней ракет-носителей пирогенному воздействию уделяется меньше внимания, чем механическому или химическому воздействию; предполагается, что вне участка падения распространившийся от него пожар не отличается от возгораний, возникших по иным причинам. Пожары на местах падения ступеней РН “Протон-М” возникают в 28% случаев, на местах падения ступеней РН «Союз» – в 80% (Koroleva et al., 2018), что связано с разной воспламеняемостью компонентов их топлив. Чаще всего пожары

ограничены малыми площадями (для ступеней РН «Протон-М» в среднем до 5 м², для ступеней РН «Союз» – до 100 м²; (Koroleva et al., 2018; Lednev et al., 2018). Регулярные пуски ракет-носителей можно рассматривать как причину увеличения частоты пожаров и снижения сроков оборота огня в районах падения.

Глава 3. Материалы и методы исследований

Массив геоботанических описаний, использованный в работе, насчитывает 231 описание и был собран с 2014 по 2025 гг. сотрудниками лаборатории экологической безопасности кафедры геохимии ландшафтов и географии почв географического факультета МГУ: Н.Г. Кадетовым (2013–2014) – 26 оп.; В.М. Феодоритовым (2015) – 12 оп.; С.А. Ледневым (с 2016 г.) – 193 оп.. Все описания собраны в районах падения первой ступени ракет-носителей при осуществлении пусков с космодрома Байконур. Районы падения расположены в Улытауской области Республики Казахстан и формируют 2 отдельные зоны: западную (Ю24, для РН семейства «Протон») и восточную (Ю25, для РН семейства «Союз»). Площади зон – 1660 и 2725 км² соответственно.

Описания выполнены на площадках 10x10 м², не затронутых механическим и химическим воздействием при падении РН, по стандартной методике (Полевая геоботаника, 1972). Анализ описаний проведен с определением участия видов в сообществах разных формаций и на разных стадиях сукцессии по показателям встречаемости видов, проективного покрытия, а также интегрального показателя активности видов, вычисляемого по формуле Л.И. Малышева и Ю.Н. Петроченко (Малышев, 1973, цит. по: Огуреева, 1991).

Для установления возраста и частоты пожаров был использован массив данных Landsat за период с 1984 г. (<https://www.usgs.gov/news/free-open-landsat-data-unleashed-power-remote-sensing-decade-ago>). По данным дистанционного зондирования (ДЗЗ), 40% территории района не подвергалась пожарам в последние 40 и более лет, что позволяет предположить здесь наличие коренных сообществ с учётом срока оборота огня в полынных Казахстана около 10-15 лет (Иванов, 1958). Остальные участки за то же время подвергались пожарам от 1 до 5 раз (Рисунок 1).

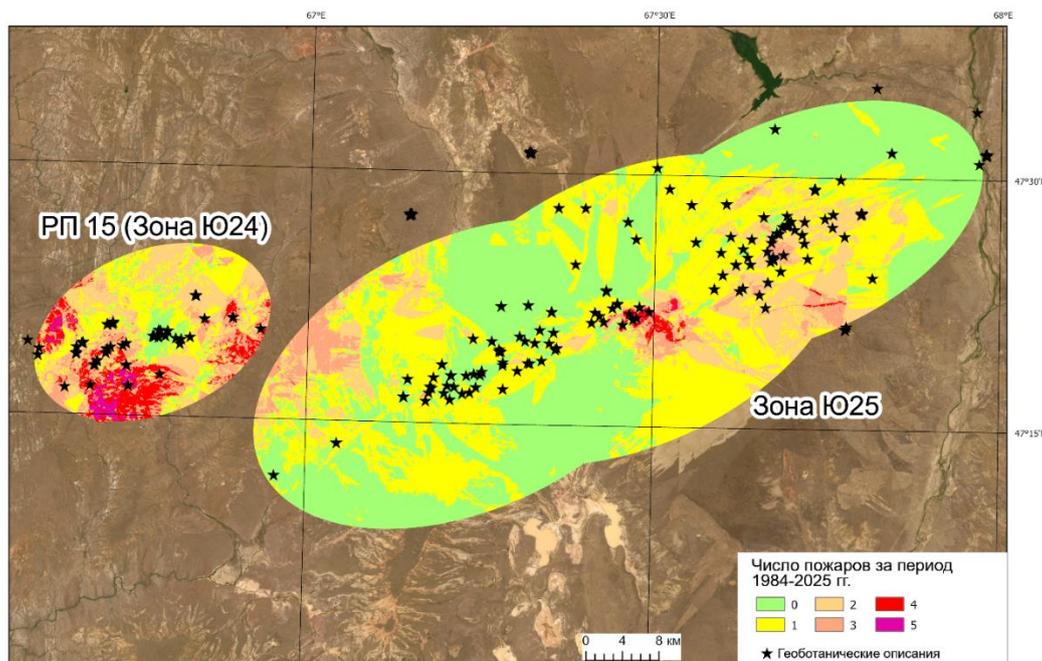


Рисунок 1. Частота пирогенного воздействия в районе исследования (в границах районов падения фрагментов ракет-носителей).

На основе эколого-ценотического подхода выделены основные формации северных пустынь с учетом доминантов коренных сообществ и активности видов в сообществах. В качестве источников для выделения ассоциаций и формаций использовались работы Б.А. Быкова (1962, 1965), З.В. Кубанской (1956), монография “Ботаническая география Казахстана и Средней Азии (в пределах пустынной области)” (2003). При анализе сукцессионных рядов использован экосистемный (геосистемный) подход к выделению эпиформации белоземельной полыни как системы коренных и производных сообществ, рассматриваемой на региональном уровне.

Ординация геоботанических описаний по методу non-metrical multidimensional scaling (NMDS) выполнена в среде R с пакетом vegan (Oksanen et al., 2017).

Глава 4. Растительность северных пустынь в районе исследования

В растительном покрове района исследования выделено 3 группы формаций, относящихся к эуксерофитной пустынной полукустарничковой растительности (*Desertisuffruticuleta*): полынные и многолетнесолянковые пустыни, а также сообщества ксерофитных кустарников (Таблица 1). Приведённые в таблице синтаксоны в основном описаны на сопредельных территориях (Кубанская, 1956; Быков, 1962, 1965, 1977; Степанова, 1962; «Ботаническая география...», 2003).

Таблица 1. Растительность северных пустынь района исследования (N – число описаний)

Класс ассоциаций	Ассоциации	N
ПОЛЫННЫЕ ПУСТЫНИ		
Формация белоземельной полыни (Artemisieta terrae-albae)		41
Artemisietum terrae-album	1. <i>Artemisia terrae-albae</i>	17
Artemisietum terrae-album graminosa	2. <i>Artemisia terrae-albae</i> – <i>Poa bulbosa</i>	2
	3. <i>Artemisia terrae-albae</i> – <i>Stipa sareptana</i>	2
Artemisietum terrae-album suffruticulosa	4. <i>Artemisia terrae-albae</i> – <i>Atriplex cana</i>	4
	5. <i>Artemisia terrae-albae</i> – <i>Anabasis salsa</i>	2
Artemisietum terrae-album fruticulosa	6. <i>Artemisia terrae-albae</i> – <i>Nanophyton erinaceum</i>	1
	7. <i>Artemisia terrae-albae</i> – <i>Salsola arbusculiformis</i>	11
Artemisietum terrae-album fruticosa	8. <i>Caragana balchaschensis</i> – <i>Artemisia terrae-albae</i>	2
Формация чёрной полыни (Artemisieta pauciflorae)		1
Artemisietum pauciflorum	9. <i>Artemisia pauciflora</i>	1
Формация лессинговидной полыни (Artemisieta sublessingiana)		7
Artemisietum sublessingianum	10. <i>Artemisia sublessingiana</i>	3
Artemisietum sublessingianum fruticulosa	11. <i>Artemisia sublessingiana</i> – <i>Salsola arbusculiformis</i>	4
Формация семиаридной полыни (Artemisieta semiaridae)		3
Artemisietum semiaridum	12. <i>Artemisia semiarida</i>	2
Artemisietum semiaridum fruticulosa	13. <i>Artemisia semiarida</i> – <i>Salsola arbusculiformis</i>	1
Формация тонковатой полыни (Artemisieta gracilescentis)		1
Artemisietum gracilescentis	14. <i>Artemisia gracilescens</i>	1
МНОЛЕТНЕСОЛЯНКОВЫЕ ПУСТЫНИ		
Формация биюргуна (Anabaseta salsae)		5
Anabasetum salsae	15. <i>Anabasis salsa</i>	3
Anabasetum salsae suffruticulosa	16. <i>Anabasis salsa</i> – <i>Atriplex cana</i>	2

Продолжение Таблицы 1

Класс ассоциаций	Ассоциации	N
МНОЛЕТНЕСОЛЯНКОВЫЕ ПУСТЫНИ		
Формация кокпека (Atripliceta canae)		7
Atriplicetum canum	17. <i>Atriplex cana</i>	1
Atriplicetum canum suffruticulosa	18. <i>Atriplex cana</i> – <i>Artemisia pauciflora</i>	2
	19. <i>Atriplex cana</i> – <i>Artemisia terrae-albae</i>	3
	20. <i>Atriplex cana</i> – <i>Limonium suffruticosum</i>	1
Формация тасбиюргуна (Nanophytoneta erinacei)		2
Nanophytonetum erinacei suffruticulosa	21. <i>Nanophyton erinaceum</i> – <i>Artemisia terrae-albae</i>	2
СООБЩЕСТВА КСЕРОФИТНЫХ КУСТАРНИКОВ		
Формация зверобоелистной спиреи (Spiraeeta hypericifoliae)		3
Spiraeetum hypericifolium	22. <i>Spiraea hypericifolia</i>	2
Spiraeetum hypericifolium suffruticulosa	23. <i>Spiraea hypericifolia</i> – <i>Artemisia sublessingiana</i>	1

В районе исследования преобладают сообщества белоземельнопопынной формации (*Artemisieta terrae-albae*), которая рассматривается как зональная, а её климаксные стадии – как финал сукцессии на региональном уровне. Сообщества *A. terrae-albae* встречаются в разных местообитаниях: на равнинах и склонах мелкосопочников, на породах разного литологического состава, на суглинистых, супесчаных и песчаных, полнопрофильных и маломощных почвах. В коренных сообществах формации зарегистрирован 81 вид сосудистых растений. В число характерных видов входят полукустарнички и кустарнички: *Atriplex cana*, *Caragana balchaschensis*, *Salsola arbusculiformis*; дерновинные злаки: *Poa bulbosa*, *Stipa sareptana*; травянистые многолетники: *Hyalolaena bupleuroides*, *Ferula resinosa*, *Rheum tataricum*; однолетники: *Alyssum turkestanicum*, *Ceratocarpus arenarius*, *Ceratocephala testiculata*, *Descurainia sophia*, *Lepidium perfoliatum*, *Litwinowia tenuissima* и др.

Глава 5. Пирогенные сукцессии сообществ района исследований

Пирогенные сукцессии сообществ Центрального Казахстана мы рассматриваем как экзогенные антропогенные кратковременные циклические процессы динамики растительного покрова. Пирогенная динамика северных пустынь на территории Казахстана детально не изучалась; в ряде работ рассматриваются её отдельные аспекты (Иванов, 1958; Dara et al., 2020).

Формация белоземельной полыни находится на северной границе распространения вида в северных пустынях Казахстана. Её сообщества преобладают в районе исследования, и массив описаний пирогенно-трансформированных сообществ в основном (>90%) принадлежит этой формации, поэтому дальнейшее рассмотрение сукцессий произведено на примере этой формации.

При анализе изменения состояния сообществ с увеличением времени с момента пирогенной трансформации в ходе сукцессии выделено 5 стадий (считая коренные сообщества), определены их характерные и активные виды. Стадии сукцессии выделены по смене доминантов с учётом проективного покрытия, встречаемости и активности видов в сообществах.

1. Однолетниково-злаковая стадия (1-3 года после пожара). Участок пожара заселяется в основном однолетниками из семенного банка почвы или за счёт заноса семян с участков, избежавших выгорания. Кроме того, увеличивается покрытие дерновинных злаков, почки возобновления которых переживают пожар за счёт расположения внутри дернины, и некоторых кустарников (*Caragana balchaschensis*) и кустарничков (*Rosa persica*), у которых отмечено возобновление побегов от корня. Проективное покрытие *Artemisia terrae-albae* на этой стадии чаще всего не превышает 1%, вид в основном представлен особями, избежавшими сгорания при пожаре, или полностью отсутствует. Активные виды – однолетники *Descurainia sophia*, *Tauscheria lasiocarpa*, *Lepidium perfoliatum*; многолетники *Allium caeruleum*, *Agropyron desertorum*, *Rosa persica* и др.

2. Полынно-злаково-рогачёвая стадия (4-7 лет) – в сообществе позиции доминантов и субдоминантов занимают либо дерновинные злаки (*Stipa sareptana*, *Agropyron desertorum*), либо рогач песчаный (*Ceratocarpus arenarius*), в редких случаях полынь белоземельная (*Artemisia terrae-albae*). Помимо них, роль субдоминантов или доминантов могут играть другие виды, определяющие отдельные ассоциации (*Caragana balchaschensis*, *Poa bulbosa*).

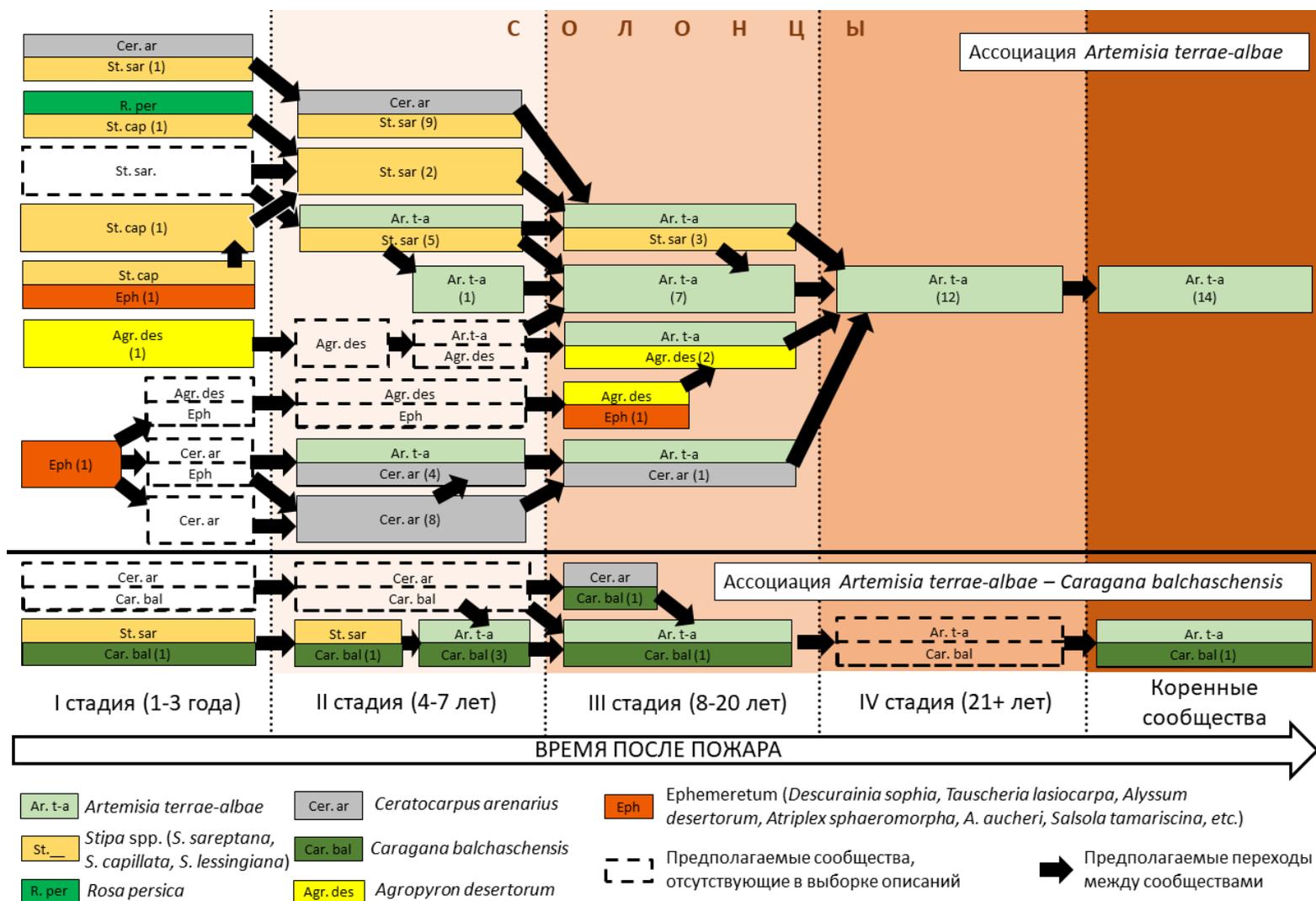
3. Стадия становления полынной синузии (8-20 лет). На этой стадии все рассматриваемые сообщества (за единичными исключениями) включают *A. terrae-albae* на позиции доминанта или субдоминанта сообществ. По данным Б.А. Быкова (1977), успешность возобновления полыни коррелирует с количеством осадков в отдельные годы. Сроки, характерные для данной стадии, соответствуют срокам оборота огня для полынников западного Казахстана (10-15 лет), ранее приводимых В.В. Ивановым (1958).

4. Стадия полынных сообществ (от 21 года). *A. terrae-albae* доминирует в фитоценозах, остальные виды представлены незначительно (кроме видов, определяющих отдельные ассоциации – *Caragana balchaschensis*, *Poa bulbosa*). Отсутствие значимых изменений в составе сообществ на протяжении 20 лет, на которых прослежена данная стадия, позволяют оценить её как условно коренную (субклимаксную).

5. Прямой переход к коренным (климаксным) полынным (не выгоравшим за период доступности данных ДЗЗ, то есть по меньшей мере 35-40 лет) по нашим данным ожидается для ассоциаций *Artemisia terrae-albae*, *Artemisia terrae-albae* – *Poa bulbosa* и *Artemisia terrae-albae* – *Caragana balchaschensis*. Коренные сообщества отличаются от отмеченных на предыдущей (субклимаксной) стадии более высокой флористической насыщенностью и более обширным видовым разнообразием с меньшей долей однолетников.

В белоземельнополынных сообществах, занимающих почти 80% территории района, выражена пирогенная мозаичность растительного покрова, формирующаяся в результате регулярных крупных пожаров с периодичностью раз в несколько лет, с одной стороны, и наличия преград для распространения огня (в том числе колеи дорог и долин крупных водотоков) с другой. При этом пожарам за последние 40 лет не подвергалась значительная часть сообществ (24,8% от всей территории зоны). Недавно трансформированные пирогенные сообщества (1-я и 2-я стадии) составляют 7,8% территории района; более трети белоземельнополынных (35,9%) находятся в 3-й стадии сукцессии. Таким образом, все сукцессионные стадии представлены в растительном покрове значительными по площади территориями.

Рассмотрены особенности сукцессии сообществ *A. terrae-albae* на трёх типах почв: бурых пустынных (зональный тип почв), бурых пустынных солонцеватых и солонцах. Рассматриваемые типы почв в районе слабо дифференцированы друг от друга (все бурые почвы в районе солонцеваты в различной степени). Наиболее полно хронологическая серия сообществ реконструирована для слабозасолённых пустынных солонцов (Рисунок 2). Здесь хорошо прослеживаются сукцессионные стадии для коренных сообществ 2-х ассоциаций: 1) белоземельнополынной (*Artemisia terrae-albae*); 2) караганово-белоземельнополынной (*Caragana balchaschensis* – *Artemisia terrae-albae*). Характеристика флористического состава сообществ всей формации на данной стадии приведена в Таблице 2.



Прямоугольные ячейки обозначают сообщества (однородные - монодоминантные сообщества, составленные из двух горизонтальных субъчеек - с доминантами и субдоминантами). В ячейках указаны доминанты сообществ; в скобках указано число описаний.

Рисунок 2. Схема пирогенной сукцессии в белоземельнопопынной формации на солонцах.

Таблица 2. Характеристика флористического состава белоземельнопопынной формации на разных стадиях сукцессии на солонцах

Стадия	Активные виды* (с высокой активностью)	Характерные виды (с высоким постоянством)
Злаково-однолетниковая (1-3 года)	<i>Agropyron desertorum</i> , <i>Ceratocarpus arenarius</i> , <i>Chorispora tenella</i> , <i>Descurainia sophia</i> , <i>Galatella tatarica</i> , <i>Litwinowia tenuissima</i> , <i>Rosa persica</i> , <i>Stipa capillata</i> , <i>Tauscheria lasiocarpa</i>	<i>Allium caeruleum</i> , <i>Alyssum desertorum</i> , <i>Artemisia terrae-albae</i> , <i>Ceratocarpus arenarius</i> , <i>Ceratocephala orthoceras</i> , <i>Descurainia sophia</i> , <i>Hyalolaena bupleuroides</i> , <i>Litwinowia tenuissima</i> , <i>Rheum tataricum</i> , <i>Tauscheria lasiocarpa</i>
Полынно-злаково-рогачёвая (4-7 лет)	<i>Agropyron desertorum</i> , <i>Ceratocarpus arenarius</i> , <i>Eremopyrum orientale</i> , <i>Stipa sareptana</i>	<i>Alyssum desertorum</i> , <i>Artemisia terrae-albae</i> , <i>Ceratocarpus arenarius</i> , <i>Ceratocephala orthoceras</i> , <i>Hyalolaena bupleuroides</i> , <i>Rheum tataricum</i> , <i>Stipa sareptana</i> , <i>Tauscheria lasiocarpa</i>
Становления полынной синузии (8-20 лет)	<i>Agropyron desertorum</i> , <i>Artemisia terrae-albae</i> , <i>Astragalus testiculatus</i> , <i>Bassia prostrata</i> , <i>Ceratocarpus arenarius</i> , <i>Ceratocephala orthoceras</i> , <i>Eremopyrum orientale</i> , <i>Ferula resinosa</i> , <i>Geranium linearilobum</i> , <i>Meniocus linifolius</i> , <i>Pyankovia brachiata</i> , <i>Ranunculus platyspermus</i> , <i>Rochelia retorta</i> , <i>Rhinopetalum karelinii</i> , <i>Stipa sareptana</i> , <i>Tulipa biflora s.l.</i> , <i>T. suaveolens</i> , <i>Veronica biloba</i>	<i>Artemisia terrae-albae</i> , <i>Ceratocarpus arenarius</i> , <i>Ceratocephala orthoceras</i> , <i>Hyalolaena bupleuroides</i> , <i>Rheum tataricum</i> , <i>Rochelia retorta</i> , <i>Stipa sareptana</i> , <i>Tulipa biflora s.l.</i>
Полынных сообществ (21+ лет)	<i>Artemisia terrae-albae</i> , <i>Bassia hyssopifolia</i> , <i>Bassia prostrata</i> , <i>Climacoptera lanata</i> , <i>Veronica biloba</i>	<i>Artemisia terrae-albae</i> , <i>Hyalolaena bupleuroides</i> , <i>Rheum tataricum</i>
Коренного полытника (не горело)	<i>Artemisia terrae-albae</i> , <i>Bassia hyssopifolia</i> , <i>Bassia prostrata</i> , <i>Poa bulbosa</i>	<i>Anabasis salsa</i> , <i>Artemisia terrae-albae</i> , <i>Salsola arbusculiformis</i> , <i>Nanophyton erinaceum</i> , <i>Rheum tataricum</i>

Однолетниково-злаковая стадия, полынно-злаково-рогачёвая стадия и стадия становления полынной синузии на солонцах характеризуются наибольшим флористическим богатством (от 41 видов на 1-й стадии до 88 видов на 3-й стадии, флористическая насыщенность в среднем от 12 до 16 видов на 100 м²) и разнообразием вариантов сообществ. На стадии

попынных сообществ происходит обеднение флористического состава до 32 видов и падение флористической насыщенности до 8 видов на 100 м² (тенденция характерна и для других типов почв). При этом попынное сообщество на этой стадии соответствует коренным ценозам по показателям общего проективного покрытия, покрытия попыни и однолетников, однако уступает коренным по общему числу видов растений, отмечаемых на данной стадии, и флористической насыщенности, т.е. можно говорить только о соответствии условно коренным (субклимаксным) сообществам. Характерные и активные виды для разных стадий сукцессии приведены в табл. 2.

Характерная особенность пирогенной сукцессии на солонцах – выпадение дерновинных злаков из состава производных сообществ после 3-й стадии (на других типах почв они отмечаются и на 4-й стадии сукцессии, а также изредка и в коренных сообществах). По мере роста солонцеватости почв формирование монодоминантных попынников происходит во всё более ранний срок после пожара. Кроме того, на солонцах отсутствует ассоциация *Artemisia terrae-albae* – *Poa bulbosa*, характерная для бурых пустынных почв.

Непрямая ординация массива геоботанических данных (Рисунок 3) демонстрирует неявную кластеризацию сообществ на разных стадиях, что говорит об их континуальности и отсутствии резких изменений в видовом составе в ходе сукцессии. По её данным подтверждается, что начиная с 3-й стадии сукцессии состояние сообществ приближается к фоновому, что обусловлено постепенным восстановлением попыни; также выражено несоответствие 4-й стадии попынных сообществ и 5-й коренных, что вновь свидетельствует о незавершённости сукцессии.

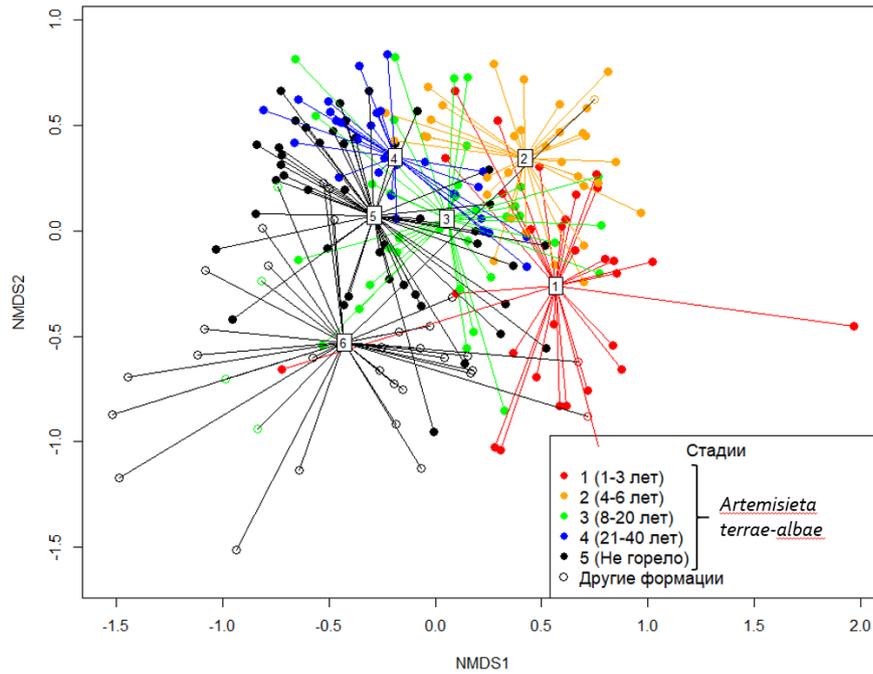


Рисунок 3. Вариант непрямой ординации сообществ белоземельнополынной формации с выделением центроидов групп.

Сходные сукцессионные ряды сообществ на разных типах почв являются частью единой сукцессионной системы эпиформации белоземельной полыни, генерализованная схема которой представлена на Рисунок 4).

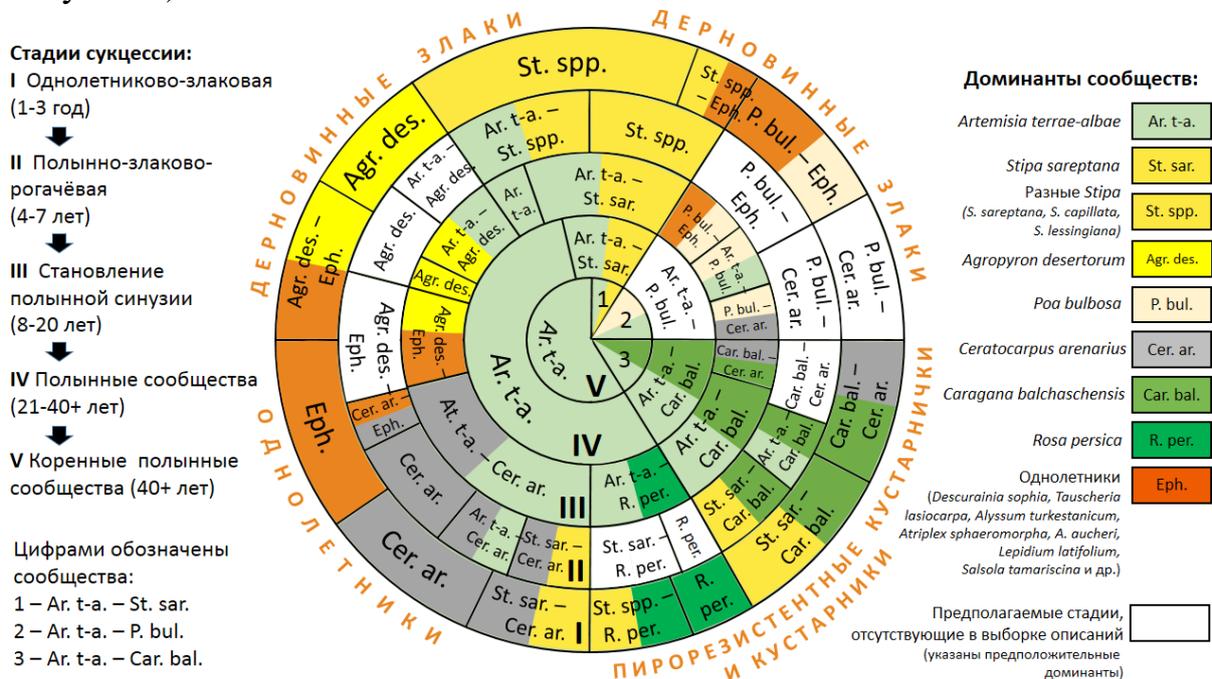


Рисунок 4. Пирогенная сукцессионная система эпиформации белоземельной полыни в районе исследования

Схема построена по принципу циклограммы. Концентрические круги в основе схемы – последовательность сукцессионных этапов, выделяемых в

процессе демуляции сообществ. Круг в центре (V) - коренные сообщества, не подвергавшиеся пожарам по данным ДЗЗ. Наружный периферийный круг (I) – злаково-однолетниковые сообщества, формирующиеся в первые годы после пожара. Между этими кругами расположены промежуточные стадии пирогенной сукцессии. Сообщество, отмеченное в периферийном круге, в ходе сукцессии изменяется через стадии, располагающиеся по радиусу от периферии к центру; по описанию сообщества в первый год после пожара можно предположить возможные варианты стадий сукцессии, расположенных по радиусу к центру от этого состояния на схеме. Принцип построения схемы соотносится с представлениями В.Б. Сочавы (1978) об эпиформации как единой динамической системе коренных и производных сообществ, где коренные сообщества в эквифинальном состоянии экосистемы занимают центральное положение, а производные сообщества возвращаются к коренному состоянию в ходе сукцессии.

Заключение

Основные выводы, полученные в результате представленной работы:

1. В растительном покрове северных пустынь в районе исследования выделены пять полынных формаций (14 асс.), три многолетнесолянковых формации (7 асс.) и одна формация ксерофитных кустарников (2 асс.). Преобладают сообщества белоземельнополынной формации (*Artemisieta terrae-albae*), включающей 8 ассоциаций.

2. На основе анализа характерных видов для белоземельнополынной формации выделены 5 стадий пирогенной сукцессии: 1) злаково-однолетниковая – до 3 лет; 2) полынно-ковыльно-рогачёвая – 4–7 лет; 3) стадия становления полынной синузии – 8–20 лет; 4) стадия полынных сообществ – от 21 года; 5) коренные полынные сообщества. Полный срок пирогенной сукцессии составляет более 40 лет; полытники на 4-й стадии рассматриваются как субклимаксные.

3. Сукцессионные ряды сообществ белоземельнополынной формации на бурых пустынных, бурых пустынных солонцеватых почвах и солонцах различаются по составу характерных видов. Наибольшие различия наблюдаются на начальных стадиях сукцессий; в дальнейшем при постепенном приближении к коренному состоянию увеличивается сходство формирующихся сообществ.

4. Пирогенная сукцессионная система белоземельной полыни, обладая определённой устойчивостью, поддерживает общее биоразнообразие в регионе и экологический потенциал территории. Периодические пожары увеличивают разнообразие вариантов производных сообществ; в ходе сукцессии происходит их унификация.

Благодарности

Автор глубоко признателен научному руководителю Г.Н. Огуревой за ценные советы и помощь в работе. Также автор благодарит научные

коллективы кафедры геохимии ландшафтов и географии почв и кафедры биогеографии географического факультета (отдельно - Т.В. Королеву, И.Н. Семенкова, А.М. Карпачевского, И.М. Микляеву, Е.Г. Королеву, А.В. Боброва), сотрудников АО «ЦЭНКИ», НПО Машиностроения, ДГП «Инфракос-Экос» (Казахстан) за помощь с выполнением работ в районе исследования; В.И. Ивлева и коллектив сотрудников Жезказганского ботанического сада за помощь с определением местной флоры; Л.В. Шевяхову (ГБПОУ «Воробьевы горы») за многолетнее наставничество, П.Ю. Жмылёва (биологический факультет МГУ) за научное руководство первых работ в университете; членов семьи и друзей за поддержку на всех этапах подготовки диссертации.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ по специальности и отрасли наук

1. Koroleva, T.V., Krechetov, P.P., Semenov, I.N., Sharapova, A.V., **Lednev, S.A.**, Karpachevskiy, A.M., Kondratyev, A.D., Kasimov, N.S. The environmental impact of space transport // Transportation Research Part D: Transport and Environment. – 2018. – Vol. 58. – pp. 54–69, 2018. EDN: XNLOSU. Импакт-фактор 2,301 (SJR); 1,45 п.л.; вклад автора – 15%.

2. **Lednev, S.**, Koroleva, T., Krechetov, P., Sharapova, A., Semenov, I., Karpachevskiy, A. Revegetation of areas disturbed by rocket impact in Central Kazakhstan // Ecoscience. – 2018. – Vol. 25. – №1. – pp. 25–38. EDN: XXXYOL. Импакт-фактор: 0,499 (SJR); 1,1 п.л.; вклад автора – 80%.

3. Karpachevskiy, A, **Lednev, S.**, Semenov, I., Sharapova, A., Nagiyev, S., Koroleva, T. Delineation of burned arid landscapes using Landsat-8 OLI data: a case study of Karaganda region in Kazakhstan // Arid Land Research and Management. – 2021. – Vol. 35. – №3. – pp. 292–310. EDN: FZUHOT. Импакт-фактор: 0,438 (SJR); 1,1 п.л.; вклад автора – 20%.

4. Klink, G.V., **Lednev, S.A.**, Semenov, I.N., Konyushkova, M.V., Karpachevskiy, A.M., Chemidov, M.M., Ulanova, S.S., Fedorova, N.L., Sharapova, A.V., Bogun, S.A., Koroleva, T.V. Influence of fires on desert plant communities at the Chernye Zemli (SW Russia) // Fire. – 2024. – Vol. 7. – №3. – Article № 96. DOI: 10.3390/fire7030096. EDN: KUWSVM. Импакт-фактор 0,572 (SJR); 1,45 п.л.; вклад автора – 40%.

Иные публикации по теме диссертации

5. **Lednev, S.**, Semenov, I., Sharapova, A., Koroleva, T. The impact of fire on plant biodiversity in the semideserts of Central Kazakhstan // E3S Web of Conferences. – 2021. – Vol. 265. – Article № 01020. DOI: 10.1051/e3sconf/202126501020. EDN: ZXUCUF. Импакт-фактор 0,205 (SJR); 0,3 п.л.; вклад автора – 95%.

6. **Lednev, S.**, Sharapova, A., Semenov, I., Koroleva, T. Yielding capacity of pyrogenic communities in Central Kazakhstan // E3S Web of Conferences. –

2023. – Vol. 389. – Article № 02017, 2023. DOI: 10.1051/e3sconf/202338902017. EDN: QYCCHW. Импакт-фактор 0,205 (SJР); 0,3 п.л.; вклад автора – 95%).

7. **Lednev, S.** Approaches to the study of vegetation dynamics in arid Eurasia biomes: A review // II International conference on agriculture, Earth remote sensing and environment (RSE-II-2023). – 2023. – Vol. 392. – Article № 02006. DOI: 10.1051/e3sconf/202339202006. EDN: QRGBUQ. Импакт-фактор 0,205 (SJР); 0,5 п.л.; вклад автора – 100%.

8. **Lednev, S., Semenov, I., Koroleva, T.** Fire frequency in the sagebrush deserts of Central Kazakhstan // E3S Web of Conferences. – 2025. – Vol. 646. – Article № 00019. DOI: 10.1051/e3sconf/202564600019. EDN: QWBWFT. Импакт-фактор 0,205 (SJР); 0,6 п.л.; вклад автора – 90%.