

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Уфимский Институт биологии – обособленное структурное подразделение
Федерального государственного бюджетного научного учреждения
Уфимского федерального исследовательского центра
Российской академии наук (УИБ УФИЦ РАН)

На правах рукописи



Кутуева Алия Галеевна

АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ СОВРЕМЕННОГО РАСПРОСТРАНЕНИЯ
ВИДОВ-РЕЛИКТОВ ПЛЕЙСТОЦЕНОВОГО КОМПЛЕКСА НА ЮЖНОМ
УРАЛЕ И ВОЗМОЖНОГО ВЛИЯНИЯ НА ИХ РАСПРОСТРАНЕНИЕ
КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ

1.5.15 – Экология (биологические науки)

Диссертация на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель:
доктор биологических наук, доцент
Федоров Николай Иванович

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
Глава 1. РЕЛИКТЫ ПЛЕЙСТОЦЕНОВОГО ФЛОРИСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ЮЖНОГО УРАЛА	10
1.1 Реликтовые виды во флоре Южного Урала.....	10
1.2 Места произрастания плейстоценовых реликтовых видов на Южном Урале и их сохранение в период потепления климата в середине голоцена	13
1.3 Изменение климата и растительности на Южном Урале в плейстоцене и голоцене	14
1.4 Тенденция изменения климата в настоящее время на Южном Урале....	16
1.5 Климатические переменные, используемые при моделировании влияния климатических изменений	16
1.5.1 MaxEnt и опыт моделирования потенциальных ареалов и влияния климата на распространение редких видов	18
1.6 Климатические модели изменения климата в будущем.....	21
Глава 2. ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	23
2.1 Характеристика района исследования.....	23
2.2 Объекты исследования	25
2.2.1 Методика сбора и подготовки данных для моделирования	29
2.3 Методы исследования.....	29
2.3.1 Используемые при моделировании переменные среды	30
2.3.2 Моделирование пригодности условий местообитания	33
2.4 Анализ закономерности распространения редких реликтовых видов плейстоценового комплекса и их охвата существующей системой ООПТ .	35
Глава 3. РЕЛИКТОВЫЕ ВИДЫ ПЛЕЙСТОЦЕНОВОГО КОМПЛЕКСА НА ЮЖНОМ УРАЛЕ.....	36
3.1 Перигляциальные реликтовые виды плейстоценового комплекса	36
3.2 Эколого-ценотические группы редких реликтовых видов плейстоценового комплекса Южного Урала	38
Глава 4. АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ АРЕАЛОВ МОДЕЛЬНЫХ РЕЛИКТОВЫХ ВИДОВ ПЛЕЙСТОЦЕНОВОГО КОМПЛЕКСА НА ЮЖНОМ УРАЛЕ.....	50
Глава 5. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИГОДНОСТИ УСЛОВИЙ МЕСТООБИТАНИЯ МОДЕЛЬНЫХ РЕЛИКТОВЫХ ВИДОВ ПЛЕЙСТОЦЕНОВОГО КОМПЛЕКСА НА ЮЖНОМ УРАЛЕ ПРИ РАЗНЫХ СЦЕНАРИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА	78

5.1 Виды, у которых при изменении климата прогнозируется снижение пригодности условий местообитания	78
5.2 Виды, у которых прогнозируется возрастание пригодности условий местообитания с последующим снижением при длительном влиянии климатических изменений	96
5.3 Общий прогноз устойчивости реликтовых видов плейстоценового комплекса к климатическим изменениям.....	112
Глава 6. ИЗМЕНЕНИЕ МЕР ОХРАНЫ РЕДКИХ РЕЛИКТОВЫХ ВИДОВ ПЛЕЙСТОЦЕНОВОГО КОМПЛЕКСА	114
6.1 Охват редких реликтовых видов плейстоценового комплекса современной системой ООПТ	114
6.2 Изменение мер охраны редких видов при прогнозируемом изменении климата.....	118
ВЫВОДЫ	120
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	122

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования. С середины прошлого века отмечаются сильные климатические изменения, выражающиеся в увеличении температуры и перераспределении летних и зимних осадков (Барталев и др., 2008; Второй оценочный доклад ..., 2014; IPCC, 2021 и др.). Эти изменения оказывают сильное влияние на биоразнообразие и состояние растительного покрова, последствия которого пока еще до конца не ясны (Bellard et al., 2012; Garcia et al., 2014 и др.). К потенциально уязвимым видам относятся виды плейстоценового комплекса, которые были распространены на Южном Урале в плейстоцене и сохранились в наиболее благоприятных для них местообитаниях. Среди них есть виды с достаточно широким распространением (*Lathyrus gmelinii* Fritsch, *Allium rubens* Schrad. ex Willd., *Thalictrum foetidum* L. и др.) и 45 видов, сохранившихся в ограниченном числе локалитетов, в связи с чем они занесены в Красную книгу Республики Башкортостан (РБ) (2021). Охрана редких видов растений плейстоценового комплекса в условиях антропогенного влияния и климатических изменений может потребовать существенной коррекции системы природоохранных мер, которые должны базироваться на основе прогноза сохранения условий произрастания видов в различных естественных местообитаниях (Thomas et al., 2012; Thomas, Gillingham, 2015; Larsen et al., 2015; Fedorov et al., 2021). Это позволит определить приоритетные популяции для сохранения этих видов и разработать рекомендации по реинтродукции наиболее ценных неустойчивых к климатическим изменениям популяций (Мулдашев и др., 2011; Мартыненко и др., 2013; Duflot et al., 2018). Кроме того, эти виды могут быть использованы в качестве индикаторов происходящих изменений климата (Lin, Chiu, 2019; Chen et al., 2020 и др.).

Для прогноза изменения условий местообитания редких видов растений широко используются методы математического моделирования (Elith, Leathwick, 2009; Barlow et al., 2021; Ning et al., 2021; Смирнов и др., 2021 и др.).

др.), среди которых наиболее часто используется метод максимальной энтропии, реализованный в программе MaxEnt (Phillips et al., 2017). По данным Google Scholar, в 2020-2022 гг. этот метод был использован в исследованиях, опубликованных в более чем в 7000 рецензируемых работах, посвященных влиянию климата на растительный и животный мир. Несмотря на значительный интерес к моделированию распространения редких видов в России (Санданов, Найданов, 2015; Куликова и др., 2018; Пшегусов и др., 2019; Санданов и др., 2020; Ibrahimova, 2020; Kashin et al., 2020 и др.), работы, посвященные редким реликтовым видам плейстоценового комплекса, единичны (Чурюлина, Бочарников, 2019; Baikov et al., 2021).

Цель работы – анализ закономерностей современного распространения редких видов растений плейстоценового комплекса на Южном Урале и прогноз влияния климатических изменений на условия их местообитания.

Задачи:

1. Создание базы данных по распространению редких видов растений, являющихся на Южном Урале реликтами плейстоценового комплекса, с использованием гербарных сборов, литературных данных, агрегатора данных GBIF (Global Biodiversity Information Facility).

2. Анализ особенностей современного распространения редких видов растений плейстоценового комплекса на Южном Урале.

3. Анализ потенциальных ареалов модельных видов растений плейстоценового комплекса на Южном Урале и сопредельных территориях и факторов, определяющих распространение этих реликтовых видов плейстоценового комплекса на Южном Урале.

4. Прогноз изменения условий местообитания реликтовых видов на Южном Урале в зависимости от различных сценариев изменения климата по ансамблю климатических моделей.

5. Оценка необходимости изменения мер охраны редких видов растений плейстоценового комплекса в зависимости от охвата их локалитетов существующими особо охраняемыми природными территориями (ООПТ) и

прогноза их устойчивости к изменениям климата.

Научная новизна. Впервые с использованием ГИС-технологий проанализированы закономерности современного распространения всех редких видов растений плейстоценового комплекса на Южном Урале. Впервые в России проанализировано влияние климатических изменений на пригодность условий местообитания семи редких видов растений плейстоценового комплекса. Разработан новый подход для прогнозирования сохранения условий местообитания редких реликтовых видов, который заключается в анализе охвата локалитетов редких реликтовых видов современной системой ООПТ и прогнозе сохранения условий местообитания в конкретных локалитетах. Изменение пригодности условий местообитания видов плейстоценового комплекса при климатических изменениях может характеризоваться двумя трендами в зависимости от их принадлежности к эколого-ценотическим группам: 1) снижение пригодности местообитания; 2) возрастание пригодности местообитания с последующим снижением при длительном влиянии климатических изменений. Уточнены экологические особенности отдельных реликтовых видов плейстоценового комплекса. Показано, что *Zigadenus sibiricus* (L.) A. Gray является факультативным кальцефилом, а вид *Patrinia sibirica* Juss. следует относить не к горно-лесостепным, а к высокогорным скальным видам, имеющим реликтовые местообитания на выходах горных пород в петрофитных степях.

Научно-практическая значимость работы. На примере Южного Урала разработан алгоритм анализа закономерностей распространения редких видов в регионе, а также выявления территорий с высоким разнообразием этих видов и оценки их охвата системой существующих ООПТ. Предлагаемый подход позволяет существенно снизить временные и финансовые затраты на проведение работ по проектированию новых ООПТ для оптимизации охраны редких и исчезающих видов растений. Разработана методика подбора мест для реинтродукции наиболее неустойчивых в условиях климатических изменений видов плейстоценового комплекса. Популяции реликтовых видов

плейстоценового комплекса могут быть использованы для мониторинга климатических изменений. Разработанные подходы вносят вклад в сохранение биоразнообразия Южного Урала и могут быть использованы в качестве научной основы для совершенствования системы сохранения редких видов в других регионах РФ.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. У реликтовых видов плейстоценового комплекса потенциальные ареалы на Южном Урале шире области их современного распространения, что связано с историей формирования растительности региона, в том числе с антропогенными факторами: вырубкой хвойных лесов в Предуралье и на западном макросклоне Южного Урала, осушением болот, интенсивным выпасом скота и сбором растений населением.

2. Изменение пригодности условий местообитания редких плейстоценовых видов при климатических изменениях зависит от широты экологических амплитуд этих видов и изменения распространения растительных сообществ, являющихся их основными местообитаниями.

3. Выделение региональных эколого-ценотических групп редких реликтовых видов плейстоценового комплекса позволяет прогнозировать реакцию на изменение климата наиболее редких видов, для которых нет возможности проведения моделирования из-за малого количества находок этих видов.

4. Анализ изменения пригодности условий местообитания в известных локалитетах у неустойчивых к изменению климата редких видов позволяет выявить приоритеты сохранения их отдельных популяций и откорректировать существующие меры охраны с учетом изменения климата. Виды растений плейстоценового комплекса могут быть использованы при мониторинге текущих климатических изменений.

Апробация работы. Основные положения работы доложены на VI Всероссийской конференции с международным участием «Экобиотех-2019» (г. Уфа, 2019), на III Национальной научной конференции с международным

участием «Информационные технологии в исследовании биоразнообразия», посвященной 100-летию со дня рождения академика РАН П.Л. Горчаковского (г. Екатеринбург, 2020), на II Международной научной конференции «Растительность Восточной Европы и Северной Азии» (г. Брянск, 2020), на IX международном симпозиуме «Степи Северной Евразии» (г. Оренбург, 2021), а также на VII Всероссийской конференции с международным участием, посвященной 70-летию УИБ УФИЦ РАН и 70-летию Уфимского научного центра РАН «Экобиотех-2021» (г. Уфа, 2021).

Поддержка исследования. Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ в рамках научного проекта № 19-34-90028–Аспиранты «Прогноз влияния климатических изменений на распространение редких видов-реликтов плейстоценового комплекса на Южном Урале»; гранта в форме субсидий в области науки из бюджета Республики Башкортостан для государственной поддержки научных исследований, проводимых под руководством ведущих ученых (шифр конкурса НОЦ-РМГ-2021), а также гранта РФФИ № 22-14-00003 «Оценка и прогноз состояния уязвимых экосистем Южно-Уральского региона в условиях изменения климата и антропогенных воздействий».

Публикации. По теме диссертации опубликовано 13 работ, в том числе 4 статьи в журналах, индексируемых в базе данных WOS и одна – в журнале, входящем в список ВАК.

Личное участие автора. Автор непосредственно участвовал в постановке цели и задач исследования, сборе материалов, анализе и обработке полученных результатов, а также – совместно с научным руководителем – в подготовке статей и материалов к публикации по теме диссертации. Текст диссертации написан автором лично.

Структура и объем диссертации. Работа изложена на 157 страницах, состоит из введения, 6 глав, выводов и списка литературы, содержит 46 рисунков. Список цитируемой литературы включает 328 источников, из них 141 на иностранном языке.

Благодарности. Автор выражает большую признательность за помощь в сборе данных к.б.н. А.А. Мулдашеву, д.б.н. Н.Н. Лацинскому и к.б.н. А.В. Верховиной, а также сотрудникам Уфимского института биологии УФИЦ РАН д.б.н. Э.З. Баишевой, д.б.н., проф. В.Б. Мартыненко, Ю.А. Федоровой за рекомендации, советы, консультации и критические замечания. Автор особенно благодарна своему научному руководителю – д.б.н. Федорову Николаю Ивановичу.

Глава 1. РЕЛИКТЫ ПЛЕЙСТОЦЕНОВОГО ФЛОРИСТИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА ЮЖНОГО УРАЛА

Реликтами называют виды древней флоры или древней систематической группы, когда-то широко распространенной, но сейчас почти исчезнувшей на данной территории (Горчаковский, Шурова, 1982). Начало изучению реликтовой флоры сосудистых растений Южного Урала положили труды С.И. Коржинского (1894) и М.М. Ильина (1922). В дальнейшем эти работы были продолжены И.М. Крашенинниковым (1937; 1939) и получили свое дальнейшее развитие во второй половине XX века в фундаментальных трудах П.Л. Горчаковского (Горчаковский, 1963; Горчаковский, Шурова, 1982 и др.). В XXI веке продолжилось изучение реликтовых видов на Южном Урале (ЮУ) (Куликов, 2005; Князев и др., 2012; Мулдашев и др., 2016).

1.1 Реликтовые виды во флоре Южного Урала

Реликтовые растения Урала П.Л. Горчаковский (1963) разделил на три основные категории по историческим периодам: плиоценовые, плейстоценовые и голоценовые реликты. Плейстоценовые реликты П.Л. Горчаковский (Горчаковский, Шурова, 1982) разделил на шесть эколого-генетических групп, в которых кроме экологии вида учитывается происхождение и основной ареал:

1) перигляциальные реликты арктической флоры. К этой группе были отнесены растения, которые на данный момент широко распространены в арктической части Евразии, а за пределами основного ареала встречаются в виде реликтов. Они подразделяются на две подгруппы — реликты, произрастающие на обнажениях по берегам рек в предгорьях Урала, и в гольцовом поясе гор Южного Урала;

2) перигляциальные реликты, проникшие из высокогорных районов Азии. На Южном Урале эти виды встречаются изредка, а их местонахождения

изолированы от основного ареала;

3) перигляциальные реликты горно-европейского происхождения. В основном это виды, происходящие из гор Европы, которые расселились в плейстоцене вплоть до северной части Уральского хребта;

4) скальные и горно-степные реликты горно-азиатского происхождения, проникшие на Урал в конце плейстоцена и в начале голоцена. К этой группе П.Л. Горчаковский отнес растения, которые распространены в горах Азии на каменистых местообитаниях, в поясах горных и предгорных степей;

5) реликты азиатского происхождения, свойственные светлым лесам и лесным полянам. Эти растения находятся в составе светлохвойных (лиственничных), а иногда и березовых лесов. Основной ареал растений этой группы находится в северной части Азии;

б) реликты европейского происхождения, связанные с лесами и окраинами болот.

В дальнейшем эти группы были модифицированы П.В. Куликовым (2005). Он в критерии выделения групп добавил эколого-ценотические и ботанико-географические особенности видов. В названиях групп было детализировано происхождение видов (южно-сибирское, европейское, кавказское) и убрана группа реликтов европейского происхождения, связанных с лесами и окраинами болот, в которую П.Л. Горчаковский (Горчаковский, 1969; Горчаковский, Шурова, 1982) относил один вид — *Calluna vulgaris* (L.) Hull, реликт позднего плейстоцена (табл. 1.1). Тем не менее эта группа может быть выделена, и в нее могут входить виды, распространенные в конце плейстоцена – начале голоцена в болотах, по периметру тающих ледников в Восточной и Западной Европе, в том числе болотные виды. К таким видам можно отнести, например, *Schoenus ferrugineus* L. Этот вид можно было бы отнести к реликтам голоценового комплекса, вместе с ним на территории РБ встречаются другие виды плейстоценового комплекса (*Pinguicula vulgaris* L., *Betula nana* L. и др.) (Брадіс, 1946; Куликов, Филиппов, 1997; Baisheva et al., 2020). В работе М.С. Князева с соавторами (2012) также были выделены

эколого-исторические группы реликтовых лесостепных видов на среднем Предуралье и Среднем Зауралье: «новостепные» – широкораспространенные степные и лесостепные виды; «древнестепные» открытых местообитаний – преимущественно эндемичные и реликтовые лесостепные виды; «древнестепные» редколесий; суббореальные петрофитные; бореальные петрофитные; неморально-лесостепные; аркто-альпийские и облигатные скальные виды.

Таблица 1.1 – Эколого-ценотические группы реликтов плейстоценового комплекса по П.Л. Горчаковскому (1969) и П.В. Куликову (2005)

№	П.Л. Горчаковский	П.В. Куликов
1	перигляциальные реликты арктической флоры	перигляциальные реликты арктического происхождения, связанные с высокогорьями Южного Урала
2	перигляциальные реликты, проникшие из высокогорных районов Азии	перигляциальные реликты южносибирского происхождения, связанные с высокогорьями Южного Урала
3	перигляциальные реликты горно-европейского происхождения	скальные реликты европейского и кавказского происхождения
4	скальные и горно-степные реликты горноазиатского происхождения	скальные и петрофитно-степные реликты южносибирского происхождения
5	реликты азиатского происхождения, свойственные светлым лесам и лесным лужайкам	реликты южносибирского происхождения, связанные со светлыми лесами и лесными полянами
6	реликты европейского происхождения, связанные с лесами и окраинами болот	—

1.2 Места произрастания плейстоценовых реликтовых видов на Южном Урале и их сохранение в период потепления климата в середине голоцена

Плейстоценовые реликты сохранились в местообитаниях, в которых в той или иной степени сохранился комплекс экологических условий, близких к концу плейстоцена и началу голоцена. К таким местообитаниям относятся: скальные осыпи, петрофитные степи, болота и известняковые обнажения (Горчаковский, 1969). Предполагается, что одним из основных источников формирования плейстоценовой флоры Южного Урала была флора Арктики, а главным путем миграции высокогорных видов – путь с севера на юг вдоль Уральских гор (Горчаковский, Шурова, 1982; Куликов, 2005). Предполагается, что этим путем проникло на Южный Урал большинство арктоальпийских видов как арктогенного, так и альпигенного происхождения, а петрофитно-горно-степные и боровые виды плейстоценового флористического комплекса пришли из Южной Сибири (Куликов, 2005), в том числе через песчаные и другие наносы (Горчаковский, Шурова, 1982). В послеледниковое время такие сибирские виды полностью (или почти полностью) исчезли на территории Северного Казахстана и Западно-Сибирской низменности, так как здесь распространились растительные сообщества, в составе которых они произрастать не могут. Но эти растения смогли сохраниться в качестве реликтов в горах Урала (Горчаковский, Шурова, 1982). Причинами их сохранения может быть не только сохранение оптимальных местообитаний для вида, но и изменение его экологии и конкурентоспособности (Шварц, 1980). Например, *Allium humenorrhizum* Ledeb. на территории РБ встречается на слабозасоленных злаково-разнотравных пойменных лугах (Мулдашев и др., 2021a), а в основном ареале произрастает на мелкоземистых и каменистых склонах, лесных и субальпийских лугах (Фризен, 1987; Красноборов и др., 2012).

1.3 Изменение климата и растительности на Южном Урале в плейстоцене и голоцене

Плейстоценовый период предшествовал современному голоценовому периоду и длился примерно 200 тыс. лет (Палеогеография Европы ..., 1982). Он характеризовался формированием ледникового покрова на части территории Европы. На протяжении этого периода было несколько периодов потепления и похолодания (Маркова и др., 2008; Мол, 2008). Один из последних периодов наиболее сильных похолоданий произошел 20 тыс. лет назад (Симакова, Пузаченко, 2005). В период максимального оледенения территория Южного Урала не была покрыта ледниками, и только на крупных вершинах существовали небольшие ледники (Горчаковский, 1953). Это позволило обедненным остаткам доледниковой широколиственно-лесной флоры сохраниться в предгорьях западного склона ЮУ. В то же время по водораздельной части хребтов ЮУ на юг продвинулись горные тундры вместе с арктическими растениями, которые сохранились в гольцовом поясе на крупных горах Южного Урала (Горчаковский, 1953; Коржинский, 1894). После двух оледенений (днепровское и валдайское) в конце плейстоцена с потеплением климата и отступанием ледников сохранившиеся леса передвигались вверх по склонам, при этом оттесняя горные тундры, что привело к распаду прежде единой гольцовой области Урала на ряд изолированных участков (Горчаковский, 1953).

Переход от плейстоцена к голоцену на Южном Урале был постепенным и не сопровождался резкими изменениями природных условий. Растительность на территории Южного Урала от среднего плейстоцена к голоцену развивалась без резких перестроек, в сторону постепенного обеднения общего комплекса растительных группировок, в особенности древесными породами, вследствие усиления континентальности климата (Колесникова, 1957).

Голоцен делится на ряд периодов: пребореальный и бореальный (10 300

– 8 000 л.н.), атлантический (8 000 – 5 000 тыс. л.н.), суббореальный (5 000 – 2 500 тыс. л.н.), субатлантический (2 500 – 1 000 тыс. л.н.) (Хотинский, 1977).

В начале раннего голоцена на большей части ЮУ сосновые леса сменялись сосново-еловыми, сосново-березовыми, иногда березово-сосновыми лесами (Смирнов и др., 1990; Дерягин и др., 2010), а лиственница играла главную роль в процессе заселения открытых участков в горах (Панова 1981, 1982, 1990). Средний голоцен (атлантический период) характеризуется более мягким, теплым и влажным климатом. В это время широколиственные леса стали занимать значительные площади на западном склоне и в центральной части ЮУ (Горчаковский, 1968; Смирнов и др., 1990; Fedorov et al., 2021). Во второй половине среднего голоцена климат, оставаясь теплым, стал более сухим (Сукачев, Поплавская, 1946), что обусловило сокращение площадей лесов и расширение распространения степной и лесостепной растительности. В это время в Предуралье существовали крупные участки лесостепи севернее современной территории, от Бирска до Кунгура (Горчаковский, 1953; 1957). В конце атлантического периода выявляется некоторое расширение степных территорий в лесостепных районах и небольшое остепнение южной окраины лесной зоны. Далее в суббореальный период голоцена на ЮУ отмечается похолодание и нарастание влажности, о чем свидетельствует увеличение распространения еловых лесов (Хотинский и др., 1982). В позднем голоцене (субатлантический период) на ЮУ снова увеличились площади лесостепей и степей. В составе лесов увеличилась доля мелколиственных пород, и наблюдалось уменьшение широколиственных пород (Смирнов и др., 1990), которые в пыльцевых спектрах представлены главным образом липой (Рябова, 1965). В среднегорной части ЮУ значительные площади широколиственных и смешанных хвойных лесов заместились на сосново-березово-лиственничные леса (Fedorov et al., 2021).

1.4 Тенденция изменения климата в настоящее время на Южном Урале

Среднегодовая температура воздуха на ЮУ, как и во всем мире, начинает расти с середины 20-го века (Ленская, Ботова, 2011; Второй оценочный доклад ..., 2014; Гордиенко, 2017). По данным Росгидромета на территории Европейской части России наблюдается увеличение температуры на 1,6 °С (Валентини и др., 2020). На территории ЮУ за периоды 1935-1970 гг. и 1971-2004 гг. среднемесячные температуры воздуха в мае-июле стали выше на 0,2-0,6 °С, а в августе снизились на 0,1 °С, в октябре-мае – на 0,4-1,2 °С (Моисеев и др., 2018). Кроме температуры также отмечается повышение количества осадков – в теплый период рост суммы осадков составил 3 мм (1 %), а в холодный – 41 мм (16,5 %) (Фомин, 2009; Моисеев и др., 2018). Повышение температуры (в летние и зимние периоды) и увлажнения привело к тому, что древесная растительность расширилась в гористых местностях (Шиятов и др., 2005; Фомин, 2009; Моисеев и др., 2016). Стоит отметить, что при изучении климатических изменений на Южном Урале стоит учитывать различные природные зоны (горно-лесная, лесостепная и степная). Горно-лесная зона характеризуется более прохладным и влажным климатом и более интенсивным ростом среднегодовой температуры по сравнению с другими зонами (Ленская, Ботова, 2011; Гордиенко, 2017).

1.5 Климатические переменные, используемые при моделировании влияния климатических изменений

Для моделирования влияния климата разработан комплекс климатических характеристик, среди которых наиболее популярен набор переменных BIOCLIM (Nix, 1986; Booth et al., 2014), который в общем виде реализован в наборах данных WorldClim и CHELSA. BIOCLIM в настоящее время используется для моделирования распространения видов и связанных с

этим экологических исследований (Salas et al., 2017; Boorgula et al., 2020; Perkins-Taylor, Frey, 2020 и др.). Основной набор BIOCLIM включает 19 биоклиматических переменных, которые представляют собой как среднемесячные, так и среднегодовые данные о температуре и количестве осадков, а также рассчитанные на их основе характеристики. Расширенный набор BIOCLIM включает еще 16 дополнительных переменных (ENVIREM) (солнечная радиация, влажность почвы и т. д.) (Hutchinson et al., 2009; Zamborlini Saiter et al., 2016; Brown et al., 2020 и др.).

WorldClim – база климатических данных, рассчитанных по временному диапазону 1970-2000 гг. Данные доступны с четырьмя пространственными разрешениями: 10 минут, 5 минут, 2,5 минут и 30 секунд. Для создания слоев, характеризующих настоящее время, используются до 60000 метеорологических станций (Fick, Hijmans, 2017). Кроме климатических переменных для настоящего времени он также содержит сценарии изменения климата в будущем и данные периодов последней межледниковой эпохи, последнего ледникового максимума и среднего голоцена (Jubb et al., 2013; Fick, Hijmans, 2017).

База климатических данных CHELSA показывает более последовательную связь между рельефом и моделями осадков (Karger et al., 2016). CHELSA представляет собой набор данных, который содержит пространственную информацию о климатических переменных: например, общее количество осадков, средняя, максимальная и минимальная температура воздуха и т.д. CHELSA содержит климатические переменные, которые для настоящего времени рассчитаны для периода с 1979 по 2013 гг., а также данные о будущих сценариях изменения климата и последнем оледенении (Karger et al., 2017). Опыты сравнения CHELSA и WorldClim при моделировании потенциального распространения видов показали, что модели, основанные на климатических данных CHELSA, обладали более высокой прогностической силой (Bobrowski, Schickhoff, 2017; Karger et al., 2017; Bobrowski et al., 2021 и др.).

1.5.1 MaxEnt и опыт моделирования потенциальных ареалов и влияния климата на распространение редких видов

Климатические данные CHELSA в сочетании с другими характеристиками окружающей среды в виде растров того же разрешения, что и WorldClim, используются для моделирования потенциальных ареалов видов в моделях распространения видов. Модели распространения видов (Species distribution models (SDM)) – цифровые инструменты, которые оценивают отношения между наблюдаемыми видами и характеристиками их местообитания (Elith, Leathwick, 2009). Сегодня доступно большое количество методов моделирования, которые можно разделить на три группы: профильные (используют только данные о встречаемости и основаны на характеристике условий окружающей среды в местах присутствия видов), статистические регрессионные, а также основанные на машинном обучении (Hijmans, Elith, 2013; Санданов, 2019). SDM делятся на два типа: механистические и коррелятивные (Kearney et al., 2010). Механистические SDM используют независимую производную информацию о физиологии вида для разработки модели условий окружающей среды, при которых вид может существовать (Kearney, Porter, 2009), а коррелятивные SDM моделируют наблюдаемое распределение вида в зависимости от условий окружающей среды (Thomas et al., 2004).

Наиболее популярным среди коррелятивных SDM является MaxEnt (Fourcade et al., 2014; Gomes et al., 2018; Schnase et al., 2021 и др.). Программа MaxEnt является автономным приложением Java для моделирования распространения видов на основе точек встречаемости вида (места, где был обнаружен вид) и факторов окружающей среды (Phillips et al., 2006; 2017). Он широко используется для моделирования потенциальных ареалов видов (Elith et al., 2010; Rodríguez-Castañeda et al., 2012; Remya et al., 2015; Солодянкина и др., 2016 и др.). Кроме того, метод дает стабильные и надежные прогнозы с высокой точностью, даже при малом количестве точек присутствия (Phillips et

al., 2006; Hernandez et al., 2006; Elith et al., 2010; Groff et al., 2014; Adhikari et al., 2012 и др.). В связи с этим имеется положительный опыт использования этого метода для изучения редких видов (Kumar, Stohlgren, 2009; Anderson, Gonzalez, 2011; Abdelaal et al., 2019 и др.).

При моделировании распространения видов с использованием метода MaxEnt район исследования образует пространство, на котором определяется распространение вида. Для этого используются известные локалитеты видов, которые образуют выборку, а также данные о факторах среды, представленные климатическими переменными, а также высотой над уровнем моря, типом почв и растительности или другими переменными окружающей среды (Phillips et al., 2017).

При моделировании в MaxEnt программа предоставляет выбор критериев пороговых значений, основанных на различных статистических показателях в выходном файле MaxentResults.csv, например, минимальный порог для обучающей выборки (Minimum training presence), 10-процентный порог обучающей выборки (10 percentile training presence), равный порог логистической чувствительности и специфичности обучающей выборки (Equal training sensitivity and specificity) и максимальная чувствительность плюс специфичность для обучающей выборки (Maximum training sensitivity plus specificity) и др. (Phillips et al., 2006; Phillips et al., 2017; Liu et al., 2016; 2013).

Для оценки качества полученной модели используется значение площади под кривой (AUC, Area Under the Curve), которое варьирует от 0 до 1. Значения AUC ниже 0,5 означают, что модель имеет низкую точность, а значения, близкие к 1, показывают высокую точность модели (Swets, 1988; Fielding, Bell, 1997). Показатель AUC зависит от выборки и широко используется в SDM, несмотря на критику (Lobo et al., 2008, Jiménez-Valverde, 2012; Grimmer et al., 2020).

SDM позволяет составить карты распространения видов с высокой степенью статистической достоверности и определить районы, пригодные для

реинтродукции (Adhikari et al., 2012), а также определить новые местонахождения популяций редких и находящихся под угрозой исчезновения видов (Guisan et al., 2006; Oleas et al., 2014; Tang et al., 2017; Lannuzel et al., 2021 и др.). Анализ потенциальных ареалов редких видов может быть полезен для выявления «горячих точек биоразнообразия» (Biodiversity hotspots). Для этого используются суммированные вероятности прогноза нахождения видов или суммированное видовое богатство в ячейках раstra или сеточных карт. На основе прогноза распространения редких видов может осуществляться выбор критических мест обитания и горячих точек биоразнообразия для оценки эффективности существующих ООПТ (Ko et al., 2014; Hills et al., 2019; Srinivasulu et al., 2021).

Изучение потенциальных ареалов редких видов и влияния изменения климата на их распространение ограничено узкой географической нишей этих видов и малым количеством переменных для составления достоверных моделей распространения. Несмотря на это, в последние годы было опубликовано достаточно много работ о моделировании с использованием небольшого размера выборки, например, 20-30 точек местонахождения (Loiselle et al., 2003; Ortega-Huerta, Peterson, 2004; Pearson et al., 2007; Kumar, Stohlgren, 2009 и др.). Экспериментально было установлено, что для построения достоверной модели необходимо не менее 20 точек местонахождения вида (Hernandez et al., 2006, Wisz et al., 2008; Sandanov, Pisarenko, 2018 и др.). Однако дискуссия по этому вопросу продолжается, так как при моделировании необходимо учитывать специфичность исследуемого вида. Большую роль при моделировании играют параметры, которые отражают те или иные особенности вида (например, приуроченность к определенным типам почв, растительным сообществам, высоте над ур.м. и т.д.) для того, чтобы прогноз был более точным, несмотря на малое количество входных данных (Anderson, Gonzalez, 2011).

Стоит отметить, что для моделирования потенциальных ареалов видов используемые при моделировании точки местонахождения рекомендуется

брать из всего диапазона условий окружающей среды, а их возможные комбинации должны достаточно полно характеризовать экологическую нишу вида (Yates et al., 2018). Для этого выборка должна содержать точки местонахождений вида из географически и экологически различающихся регионов (Vamford et al., 2009; Yates et al., 2018).

1.6 Климатические модели изменения климата в будущем

В связи с наблюдаемым изменением климата разрабатываются модели общей циркуляции (МОЦ). Их разработка была скоординирована межправительственной группой экспертов по изменению климата МГЭИК (2007). В дальнейшем МОЦ были более широко представлены в докладе МГЭИК 2014 года. Разработки проводились в 22 глобальных центрах моделирования. Эти центры внесли свой вклад в создание более чем 35 МОЦ, координируемых в рамках пятой фазы проекта по совместному сопоставлению моделей (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) (CMIP5; Flato et al., 2014). В каждом из МОЦ рассматриваются четыре основных варианта репрезентативных траекторий концентрации парниковых газов RCP (Representative Concentration Pathways): RCP2.6, RCP4.5, RCP6 и RCP8.5, которые названы по уровню радиационного воздействия 2,6; 4,5; 6 и 8,5 Вт/м². Эти уровни соответствуют низкому (RCP2.6), умеренному (RCP4.5), умеренно-высокому (RCP6.0) и высокому (RCP8.5) уровням радиационного воздействия (Moss et al., 2008; Weyant, 2009). При сценарии RCP2.6 прогнозируется увеличение температуры в середине (2040-2060 гг.) и во второй половине 21-го века (2061-2080 гг.) в среднем на 1,0 °С (МГЭИК, 2014). Умеренное изменение климата (RCP4.5) – сценарий стабилизации климатических изменений за счет проведения политики по снижению выбросов, которая была принята в 2015 году Парижским соглашением в рамках Рамочной конвенции ООН об изменении климата (Paris agreement, 2015; IPCC, 2021; КС-26: Климатический пакт Глазго, 2021). При этом

сценарии прогнозируется увеличение температуры в середине 21-го века (2040-2060 гг.) в среднем на 1,4 °С, а во второй половине (2061-2080 гг.) – на 1,8 °С (МГЭИК, 2014). При сценарии RCP6 прогнозируется увеличение температуры в середине 21-го века (2040-2060 гг.) в среднем на 1,3 °С, а во второй половине (2061-2080 гг.) – на 2,2 °С (МГЭИК, 2014). Сценарий RCP8.5 – прогноз изменения климата в случае отсутствия согласованных усилий по сокращению выбросов парниковых газов. При этом сценарии прогнозируется увеличение температуры в середине 21-го века (2040-2060 гг.) в среднем на 2 °С, а во второй половине (2061-2080 гг.) – на 3,7 °С (МГЭИК, 2014). Эти сценарии МОЦ есть в наборах данных CHELSA и WorldClim.

Климатические модели дают представление о будущем климате, что позволяет проводить моделирование регионального изменения климата и оценивать климатические риски (МГЭИК, 2014). На их основе проводятся природоохранные исследования с целью прогноза будущих изменений биоразнообразия (Araújo et al., 2006; Jiang et al., 2016; Schivo et al., 2019 и др.) и его охраны (Leach et al., 2013; Souldan et al., 2019; Zhang et al., 2020 и др.), оценки эффективности охраняемых территорий и адаптации в сценариях изменения климата (Hannah, 2008; Wang et al., 2012; Lawler et al., 2020 и др.), для оценки инвазивного потенциала видов в будущем (Roura-Pascual et al., 2009; Capinha, Anastácio, 2011, Barbet-Massin et al., 2013 и др.), оценки потенциального воздействия климатических изменений на сельское хозяйство (Kogo et al., 2019; Mugo et al., 2020; Dang et al., 2020 и др.) и водные ресурсы (Hannah et al., 2013; Taylor et al., 2012; и др.). Одно из основных направлений использования МОЦ – моделирование изменения пригодности условий местообитания отдельных видов (Jiang et al., 2016; Gobezie et al., 2020; Garza et al., 2020 и др.) и их групп, а также растительных сообществ (Manish et al., 2016; Lososová et al., 2018). При этом показано, что при разных сценариях изменения климата у разных видов территория потенциального распространения может как увеличиваться, так и уменьшаться (Akhter et al., 2017; Abrha et al., 2018; Gebrewahid et al., 2020 и др.).

Глава 2. ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ, МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1 Характеристика района исследования

Южный Урал включает в себя Горный Урал, Предуралье и Зауралье (Абдрахманов и др., 2005). На территории Южного Урала расположены Республика Башкортостан, части Оренбургской и Челябинской областей.

Климат. На ЮУ континентальный климат с резко выраженной разницей среднемесячных температур (Агроклиматические..., 1976). На территории РБ среднегодовая температура воздуха колеблется от 2,8 °С (на западных и юго-западных равнинах) до 0,3 °С (в горных районах) (Позднякова, Богдан, 2020). Минимальная температура зимой достигает – 44-48 °С, а летом максимальная доходит до +35 °С. В Предуралье климат умеренно-сухой, теплый. Сумма среднесуточных температур за период с температурами выше 10 °С колеблется от 1500 до 2300 °С. Продолжительность периода с указанными температурами составляет от 106 до 139 дней. Продолжительность безморозного периода составляет 90–120 дней. Отрицательная температура устанавливается в первой декаде ноября и держится примерно до первой декады апреля. Распределение осадков на территории ЮУ неравномерно. Наибольшее количество осадков выпадает в летние месяцы. Среднегодовое количество осадков составляет 396 мм. В горном Южном Урале сумма среднесуточных температур за период с температурами выше 10 °С – самая низкая по РБ (Агроклиматические..., 1976). Здесь она колеблется от 900 до 2000 °С, а продолжительность периода с указанными температурами составляет от 106 до 110 дней. Продолжительность безморозного периода составляет 90–100 дней. В наиболее возвышенной части (например, г. Ирмель) этот период резко сокращается – до 40–50 дней, что обусловлено инверсией температур. Здесь выражена также большая суточная амплитуда – до 20 °С и более (Цветаев, 1960; Ишбирдин и др., 1996). Южно-уральский горный массив является

наиболее влажной зоной в РБ. На его территории выпадает до 550–750 мм и более осадков в год (Цветаев, 1960; Фаткуллин, 1996).

Для Зауралья характерны умеренно теплые и более засушливые климатические условия. Для этой зоны сумма среднесуточных температур за период с температурами выше 10 °С колеблется от 1800 до 2200 °С. Продолжительность периода с указанными температурами составляет от 119 до 136 дней. Продолжительность безморозного периода составляет 90–120 дней. Отрицательная температура устанавливается в первой декаде ноября и держится примерно до первой декады апреля. Среднегодовое количество осадков составляет 300–400 мм (Агроклиматические..., 1976).

Рельеф. По рельефу и геологическому строению выделяют несколько геоморфологических районов: Бугульминско-Белебеевская возвышенность, Камско-Бельское равнинно-увалистое понижение, Восточные отроги Общего Сырта, низкогорья западных склонов Южного Урала, Приайская равнина, Уфимское плато, низкогорья восточных склонов Южного Урала, Зауральский пенеплен, низко- и среднегорья центральных хребтов Южного Урала и Зилаирское плато (Кадильников, Тайчинов, 1973; Абдрахманов, 2005; Позднякова, Богдан, 2020).

Почвы. В северной части РБ на Уфимском плато распространены дерново-подзолистые, а также дерново-карбонатные почвы (Позднякова, Богдан, 2020). В лесных районах самыми распространенными почвами являются серые лесные почвы, а в горно-лесной зоне встречаются примитивные органо-щепнистые почвы, горные черноземы, горно-лесные дерново-подзолистые горно-лесные бурые, горно-тундровые, горно-луговые, а также горно-лесные дерново-карбонатные почвы. В лесостепных и степных районах распространены типичные и выщелоченные черноземы (Почвы Башкортостана, 1995; Абдрахманов и др., 2005; Герасимова, 2007).

Растительность и ботанико-географическое районирование Южного Урала. Растительность на территории ЮУ разнообразна, что связано с его географическим положением на стыке Европы и Азии и историческим

развитием флоры (Позднякова, Богдан, 2020). В горах ЮУ выражена высотная поясность и широтная зональность. На территории РБ выделяются широколиственно-лесная, бореально-лесная, лесостепная и степная зоны растительности, а в горной полосе выделяются гольцовые, подгольцовые, горно-лесные, горно-лесостепные и горно-степные пояса растительности (Горчаковский, 1988). Выделяются следующие районы по ботанико-географическому районированию: в Башкирском Предуралье – Камско-Таныпский район широколиственных, сосновых и широколиственно-темнохвойных лесов, Забельский район широколиственных лесов, район широколиственных лесов Уфимского плато, а также Северо-восточный лесной и лесостепной район, Предбельский лесостепной район, лесостепной и лесной районы Белебеевской возвышенности и Предуральский степной район; на Южном Урале – Зильмердакский район широколиственно-темнохвойных лесов, Ямантауский район темнохвойных лесов, район широколиственных лесов западного макросклона ЮУ, район светлохвойных лесов центральной части ЮУ, лесостепной район восточного склона ЮУ, а также лесостепной и лесной районы Зилаирского плато; в Башкирском Зауралье – Зауральский степной район (Абдрахманов и др., 2005; Позднякова, Богдан, 2020).

2.2 Объекты исследования

Объектами исследования были редкие реликтовые виды плейстоценового комплекса, произрастающие на территории Республики Башкортостан. В последнем издании Красной книги Республики Башкортостан (2021) к реликтам плейстоценового комплекса отнесены 45 видов, из которых 2 вида (*Paeonia hybrida* Pall. и *Ophrys insectifera* L.) входят в Красную книгу РФ (Красноборов, 2008; Аверьянов, 2008). Категории статуса редкости этих видов в Красной книге РБ (2021): 11 видов имеют 1 категорию статуса редкости – виды, находящиеся под угрозой исчезновения; 16 видов – 2 категорию – виды, сокращающиеся в численности и/или распространении; 18

видов – 3 категорию – редкие виды (табл. 2.1). Количество местонахождений у видов варьирует от 1 до 79, по одному местонахождению имеют виды *Betula nana* L., *Oxytropis sordida* (Willd.) Pers., *Thalictrum alpinum* L., *Schizachne callosa* (Turcz. ex Griseb.) Ohwi. Закономерности современного распространения анализировались для всех 45 видов. Моделирование влияния климатических изменений проводилось для семи различающихся по экологии модельных реликтовых видов (табл. 2.1), у каждого из которых выявлено не менее 20 местонахождений на территории РБ и сопредельных территориях.

Таблица 2.1 – Плейстоценовые реликтовые виды и количество их локалитетов на территории Республики Башкортостан

№	Семейство	Вид	Категория статуса редкости**	Количество местонахождений на ЮУ
1	Melanthiaceae Batsch.	<i>Zigadenus sibiricus</i> (L.) A. Gray*	2	79
2	Сyperaceae Juss.	<i>Schoenus ferrugineus</i> L.*	3	74
3	Ranunculaceae Juss.	<i>Delphinium uralense</i> Nevski*	3	56
4	Valerianaceae Batsch.	<i>Patrinia sibirica</i> (L.) Juss. *	3	50
5		<i>Linaria debilis</i> Kuprian.	3	49
6	Scrophulariaceae Juss.	<i>Linaria uralensis</i> Kotov (= <i>Linaria</i> <i>altaica</i> auct non. Fisch. ex Kuprian.)	3	48

7	Polemoniaceae Juss.	<i>Phlox sibirica</i> L.	3	39
8	Alliaceae J. Agardh	<i>Allium obliquum</i> L.*	3	39
9	Gentianaceae Juss.	<i>Gentianopsis barbata</i> (Froel.) Ma*	3	23
10	Asteraceae Dumort.	<i>Scorzonera glabra</i> Rupr.	3	19
11	Rosaceae Juss.	<i>Potentilla arenosa</i> (Turcz.) Juz.	3	15
12		<i>Potentilla agrimonioides</i> Bunge	2	12
13	Brassicaceae Burnett.	<i>Cardamine trifida</i> (Poir.) B.M. G. Jones	2	12
14	Cistaceae Juss.	<i>Helianthemum nummularium</i> (L.) Mill.	2	11
15	Lentibulariaceae Rich.	<i>Pinguicula vulgaris</i> L.	1	11
16	Fabaceae Lindl.	<i>Melilotoides platycarpus</i> (L.) Sojak	3	10
17	Alliaceae J. Agardh	<i>Allium hymenorhizum</i> Ledeb.	1	10
18	Gentianaceae Juss.	<i>Gentiana decumbens</i> L. fil.	2	10
19	Crassulaceae DC.	<i>Orostachys thyrsiflora</i> Fisch.	1	9
20	Fabaceae Lindl.	<i>Vicia multicaulis</i> Ledeb.	3	7
21	Primulaceae Vent.	<i>Androsace lehmanniana</i> Spreng.	3	6
22	Alliaceae J. Agardh	<i>Allium microdictyon</i> Prokh.	2	6
23	Rosaceae Juss.	<i>Pentaphylloides fruticosa</i> (L.) O. Schwarz	2	6
24	Cyperaceae Juss.	<i>Carex aterrima</i> Hoppe	2	5
25		<i>Carex serotina</i> Merat	2	5

26	Orchidaceae Juss.	<i>Ophrys insectifera</i> L.	1	5
27	Liliaceae Juss. s. str.	<i>Lloydia serotina</i> (L.) Reichenb.	2	5
28	Ericaceae Juss.	<i>Arctous alpina</i> (L.) Nied.	3	4
29	Scrophulariaceae Juss.	<i>Pedicularis oederi</i> M. Vahl	3	4
30	Asteraceae Dumort.	<i>Artemisia bargusinensis</i> Spreng.	1	4
31	Rosaceae Juss.	<i>Potentilla gelida</i> C.A. Mey.	1	3
32	Poaceae Barnh.	<i>Koeleria ledebourii</i> Domin	2	3
33	Caryophyllaceae Juss.	<i>Minuartia uralensis</i> (Clerc) Tzvel.	2	3
34	Salicaceae Mirb.	<i>Salix arbuscula</i> L.	3	3
35		<i>Salix arctica</i> Pall.	3	3
36	Paeoniaceae Raf.	<i>Paeonia hybrida</i> Pall.	1	3
37	Rosaceae Juss.	<i>Dryas subincisa</i> (Jurtz.) Tzvel.	3	2
38		<i>Potentilla nivea</i> L.	1	2
39	Juncaceae Juss	<i>Juncus castaneus</i> Smith	1	2
40	Caryophyllaceae Juss.	<i>Silene paucifolia</i> Ledeb.	1	2
41		<i>Dianthus repens</i> Willd.	2	2
42	Betulaceae Gray	<i>Betula nana</i> L.	2	1
43	Fabaceae Lindl.	<i>Oxytropis sordida</i> (Willd.) Pers.	2	1
44	Ranunculaceae Juss.	<i>Thalictrum alpinum</i> L.	1	1
45	Poaceae Barnh.	<i>Schizachne callosa</i> (Turcz. ex Griseb.) Ohwi	1	1

Примечание: * – модельные виды; ** – категория статуса редкости по Красной книге Республики Башкортостан (Красная книга ..., 2021)

2.2.1 Методика сбора и подготовки данных для моделирования

Для оценки экологических ниш видов и моделирования пригодности условий местообитаний необходимы геопривязанные местообитания из разных частей их ареалов (Yates et al., 2018). В связи с этим использованы географически привязанные точки гербарных сборов гербариев (UFA, IRK), литературные данные (Ивченко, Куликов, 2013; Кожин, 2015 и др.), а также местонахождения модельных видов, взятые из агрегатора данных по биоразнообразию GBIF (GBIF.org, 2021). Данные из GBIF загружались из сайта <https://www.gbif.org/> в csv-формате и переводились в shape-файлы с использованием системы координат WGS84. Геопривязанные точки на территории ЮУ имели точность привязки 5-20 м. Точки местообитаний, взятые из GBIF и имеющие привязку менее четырех знаков после запятой, не использовались, так как в этом случае их точность составляла несколько сотен метров. Повторяющиеся точки были удалены в программе QGIS с использованием функции «список уникальных значений», чтобы не увеличивать вес более изученных местообитаний, что может приводить к искажению результатов моделирования. Выборка формировалась таким образом, чтобы в одном пикселе климатических слоев не было двух точек одновременно (Hijmans, Elith, 2013). При построении модели у видов *Zigadenus sibiricus* и *Schoenus ferrugineus* для преодоления влияния высокой плотности геопривязанных точек на лучше изученных территориях, также использовались только случайным образом отобранные точки местообитаний видов с использованием модуля spThin в среде R (Aiello-Lammens et al., 2015).

2.3 Методы исследования

Моделирование потенциального ареала вида проводилось в программе MaxEnt (v3.4.1k) (Phillips et al., 2006; 2021). Программа используется для моделирования методом максимальной энтропии (Phillips et al., 2017).

2.3.1 Используемые при моделировании переменные среды

При моделировании в качестве климатических переменных (предикторов) использован набор из 19 переменных BIOCLIM из базы данных CHELSA с разрешением 30" в системе координат WGS84 (Booth et al., 2014; Karger et al., 2017) (табл. 2.2). В районе проведения исследований размер ячейки слоев составляет в среднем 560 м в широтном и 920 м в долготном направлении. Параметры BIOCLIM для настоящего времени рассчитаны на период 1979-2013 гг. Из таблицы 2.2 видно, что в параметрах BIOCLIM используются не только месячные, но и квартальные данные. При этом используемые кварталы не обязательно совпадают с календарными кварталами, а представляют собой три любых последовательных месяца (WorldClim.org; Lidetu, 2009; Kumar, 2012). Например, на ЮУ самым холодным кварталом является не первый квартал года (январь, февраль, март), а декабрь, январь и февраль.

Кроме климатических переменных при моделировании использованы характеристики цифровой модели рельефа GMTED2010 с тем же разрешением, что и климатические слои (Danielson, Gesch, 2011). В работе использовались слои высоты над ур. м. (максимальной, минимальной и средней) и рассчитанный слой разности между максимальной и минимальной высотой над ур. м в пределах пикселя, который представляет собой грубую характеристику крутизны склонов, что, в свою очередь, в некоторых случаях может отражать степень возможной каменистости почв. Морфометрические характеристики ландшафта, рассчитываемые по нескольким близкорасположенным пикселям (например, экспозиция и уклон) (Свидзинская, 2019), не использовались из-за низкого разрешения слоев высоты над ур. м., а также небольшого размера локалитетов. Для экологической калибровки, которая позволяет распознать отношения вида с окружающей средой, в дополнение к вышеперечисленным переменным для вида *Patrinia sibirica* использовано содержание грубых обломков в слое почвы

(Coarse Fragments (cfvo)), а для кальцефильного вида *Schoenus ferrugineus* – содержание органического углерода (Soil Organic Carbon (SOC)) в горизонте почвы 0-5 см, взятые из базы данных SoilGrids 2.0 (Poggio et al., 2021). Слои содержания грубых обломков и органического углерода имели гомолосинусоидальную проекцию Гуда с разрешением 250 м. Перед моделированием они были перепроецированы в SAGA в систему координат WGS84 с разрешением 30".

Чтобы избежать отрицательного влияния на результаты моделирования высокой коллинеарности переменных предикторов, мы использовали предикторы с корреляцией не более 0,8 (0,7 у *Schoenus ferrugineus*). При наличии значений корреляции между двумя переменными среды больше или равных 0,8 (0,7) одна из переменных исключалась (Dormann et al., 2013). При этом предпочтение для дальнейшего использования отдавалось переменным с выявленным на предварительном этапе большим вкладом в модель, а при прочих равных – параметрам, отражающим кварталные, а не месячные характеристики температуры и осадков.

Таблица 2.2 – Экологические переменные, использованные для моделирования

Код	Название переменной	Метод расчета	Единица измерения
Bio1	Среднегодовая температура	$\sum_{i=1}^{12} t_i / 12$	°C
Bio2	Среднегодовая среднесуточная амплитуда	$\sum_{i=0}^{12} (t_{max} - t_{min}) / 12$	°C
Bio3	Изотермальность	(Bio2/Bio7) * 100	%
Bio4	Температурная сезонность	$SD \{t_{avg_1}, \dots, t_{avg_{12}}\} * 100$	%
Bio5	Максимальная температура наиболее теплого месяца	$\max(\{t_{max_1}, \dots, t_{max_{12}}\})$	°C
Bio6	Минимальная температура наиболее холодного месяца	$\min(\{t_{min_1}, \dots, t_{min_{12}}\})$	°C
Bio7	Годовая амплитуда температур	Bio5-Bio6	°C

Bio8	Средняя температура наиболее влажного квартала	$\sum_{i=1}^{i=3} t_{avg_i} / 3$	°C
Bio9	Средняя температура наиболее сухого квартала		°C
Bio10	Средняя температура наиболее теплого квартала		°C
Bio11	Средняя температура наиболее холодного квартала		°C
Bio12	Годовые осадки	$\sum_{i=1}^{12} P_i$	мм
Bio13	Количество осадков в наиболее влажный месяц	$\max ([p_1, \dots, p_{12}])$	мм
Bio14	Количество осадков в наиболее сухой месяц	$\min ([p_1, \dots, p_{12}])$	мм
Bio15	Сезонность осадков	$\frac{SD\{p_1, \dots, p_{12}\}}{1 + (Bio\ 12/12)} * 100$	%
Bio16	Количество осадков в наиболее влажный квартал	$\sum_{i=1}^{i=3} p_i$	мм
Bio17	Количество осадков в наиболее сухой квартал		мм
Bio18	Количество осадков в наиболее теплый квартал		мм
Bio19	Количество осадков в наиболее холодный квартал		мм
h_{max}	Максимальная высота над ур. м	—	м
h_{mean}	Средняя высота над ур. м.	—	м
h_{min}	Минимальная высота над ур. м	—	м
$h_{max-min}$	Разность между максимальной и минимальной высотой над ур. м в пределах пикселя	$h_{max} - h_{min}$	м
cfvo	Содержание грубых обломков (coarse fragments) в почве	—	%
SOC	Содержание органического углерода	—	мг/кг

Примечание: i – месяц; t – температура; p – количество осадков; SD – стандартное отклонение (Karger et al., 2016; O’Donnell, Ignizio, 2012); h – высота над ур. м.

2.3.2 Моделирование пригодности условий местообитания

При проведении моделирования в программе MaxEnt были использованы следующие базовые параметры настроек: процент тестовой выборки (random test percentage) – 0; параметр сложности (regularization multiplier) – 1; количество точек псевдоотсутствия (max number background points) – 10000; количество повторов (replicates) – 5; тип репликации (replicated run type) – кросс-валидация (crossvalidate). Использование кросс-валидаций рекомендуется для улучшения качества моделей (Peterson et al., 2011; Merow et al., 2013). Дополнительные расширенные настройки: максимальное число итераций (maximum iterations) – 500; порог сходимости (convergence threshold) – 0.00001 (Phillips et al., 2021). При выборе опций программы MaxEnt предлагаются несколько форматов вывода модели: cloglog, logistic, cumulative и raw (Phillips et al., 2006). В работе использован наиболее часто употребляемый формат cloglog, преимуществом которого является удобный для интерпретации вывод, представляющий собой слой пригодности местообитаний. Пиксели в результирующей модели в этом случае могут принимать значения от 0 до 1, что обеспечивает удобство при интерпретации результатов моделирования (Phillips et al., 2017).

Для статистической оценки качества модели использован показатель AUC (Swets, 1988). Данный показатель позволяет оценить достоверность модели (в идеальном случае значение может быть близко к 1, а при значении 0,5 и ниже достоверность модели оценивается как сомнительная) (Phillips et al., 2006). Для оценки достоверности вклада предикторов в построение модели использовался набор тестов, входящих в программу MaxEnt – тест “jackknife” и тест перестановок (Permutation importance) (Phillips et al., 2017). Тест “jackknife” основан на последовательном отключении переменных и создании моделей с остальными предикторами для определения наиболее значимых факторов окружающей среды (Phillips et al., 2004). Тест перестановок основан на том, что оценка вклада каждой переменной определяется посредством

случайного изменения значений этой переменной у точек обучающей выборки (находок, и точек псевдоотсутствия), а затем – измерения уменьшения тренировочной AUC (AUC-training) (Phillips et al., 2006).

Для прогнозирования изменения пригодности местообитаний реликтовых видов плейстоценового комплекса при изменении климата использовались сценарии RCP4.5 и RCP8.5, соответствующие умеренной и сильной концентрации парниковых газов в атмосфере для двух временных периодов – 2041-2060 гг. (2050 г.) и 2061-2080 гг. (2070 г.). Подбор моделей климатических изменений для оценки влияния изменений климата проводился с учетом рекомендаций, суть которых заключалась в том, что при составлении ансамбля моделей подбираются некоррелирующие друг с другом модели (McSweeney et al., 2015; Sanderson et al., 2015). Кроме того, использовался опыт их подбора для использования на Кавказе (Hof, Allen, 2019). С учетом вышеперечисленных критериев в работе использованы четыре климатические модели: CCSM4 – разработана Университетской корпорацией атмосферных исследований (UCAR, США) (Gent et al., 2011), INMCM4 – разработана в Институте числовой математики РАН (Россия) (Volodin et al., 2010), NorESM1-M – норвежская модель системы Земли, основанная на CCSM4 (Норвегия) (Bentsen et al., 2013) и MIROC-ESM – разработана Токийским университетом NIES и JAMSTEC (Япония) (Watanabe et al., 2011). После проведения расчетов по отдельным моделям в MaxEnt для каждого из сценариев изменения климата и временного периода рассчитывался усредненный результирующий слой по ансамблю четырех используемых моделей CMIP5 (Flato et al., 2014).

Пригодность условий местообитаний в известных локалитетах реликтовых видов рассчитывалась в пределах круговых полигонов радиусом 50 м или для всей площади занимаемой территории в местообитании (*Patrinia sibirica*) на основе растровых слоев пригодности условий местообитания, полученных в результате моделирования. Пригодность условий местообитания видов подразделялась на три градации: низкопригодные, среднепригодные и высокопригодные. Для оценки нижней границы

пригодности местообитания вида использован критерий «Maximum test sensitivity plus specificity» или самое низкое значение пригодности условий местообитания для известных локалитетов (для вида *P. sibirica*) (Liu et al., 2011; 2013; 2016).

Для видов, имеющих тенденцию к увеличению потенциального ареала хотя бы при одном из сценариев изменения климата дополнительно проводилась еще и оценка изменения площадей территорий с различной пригодностью условий местообитания. Расчет проводился с использованием стандартных инструментов анализа растров в QGIS (Fedorova et al., 2021; Kutueva et al., 2021). Кроме того, для вида *P. sibirica* проводился расчет изменения пригодности условий местообитания (Ch_s) при сценариях изменения климата:

$$Ch_s = \frac{S_f - S_c}{S_c}$$

где S_c – средняя пригодность условий местообитания в границах локалитета в текущее время, а S_f – средняя пригодность условий местообитания в границах локалитета в рассматриваемый год соответствующего сценария изменения климата.

2.4 Анализ закономерности распространения редких реликтовых видов плейстоценового комплекса и их охвата существующей системой ООПТ

Для анализа закономерности распространения редких видов растений плейстоценового комплекса использовано сеточное картирование, для чего была использована сетка с ячейками 6' по широте на 10' по долготу (10,8 × 10,2 км). После создания сеточной карты анализировалась численность видов, попадающих в ячейки сетки. Для оценки охвата изучаемых видов системой ООПТ на территории РБ использован полигональный слой границ ООПТ. Для расчета числа редких видов в клетках сеточного слоя и полигонов ООПТ использовался инструмент «расчет точек в полигоне» в QGIS (Fedorov et al., 2020).

Глава 3. РЕЛИКТОВЫЕ ВИДЫ ПЛЕЙСТОЦЕНОВОГО КОМПЛЕКСА НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

Существуют различные подходы к классификации реликтовых видов плейстоценового комплекса. Среди них можно выделить разделение по их происхождению и основному ареалу (Горчаковский, 1969; Горчаковский Шурова, 1982), а также по их эколого-ценотической приуроченности (Куликов, 2005). Кроме того, выделяется особая группа перигляциальных реликтовых видов, которые в плейстоцене и в начале голоцена были приурочены к ландшафтам, примыкающим к ледниковому покрову (Горчаковский, 1969), где многократно чередовались замерзания и таяния воды в рыхлых и трещиноватых породах, морозное растрескивание, течение грунтов, развитие процессов пучения, образование мерзлотного рельефа и возникновение полигонально-трещинных, солифлюкционных и термокарстовых образований (Голубчиков, 1996). Для пространственного анализа распределения реликтовых видов плейстоценового комплекса на территории ЮУ целесообразно объединить эти виды в группы по их эколого-ценотической приуроченности на изучаемой территории. Кроме того, целесообразно рассмотреть отдельно распространение перигляциальных реликтовых видов плейстоценового комплекса, которые сохранились в наименее изменившихся рефугиумах.

3.1 Перигляциальные реликтовые виды плейстоценового комплекса

Всего на территории РБ встречаются 18 перигляциальных реликтов плейстоценового комплекса. Почти все они встречаются в возвышенной части ЮУ (рис. 3.1). Кроме видов, которых П.Л. Горчаковский относил к перигляциальным реликтам (*Androsace lehmanniana*, *Arctous alpina*, *Dianthus repens*, *Dryas subincisa*, *Juncus castaneus*, *Koeleria ledebourii*, *Lloydia serotina*,

Oxytropis sordida, *Pedicularis oederi*, *Pentaphylloides fruticosa*, *Potentilla gelida*, *Salix arctica*, *Thalictrum alpinum*) к этой группе добавлены виды известковых болот – *Schoenus ferrugineus*, *Pinguicula vulgaris*, *Ophrys insectifera*, *Carex serotina*, а также гипоаркто-бореальный вид *Betula nana*. Известковые болота, в которых произрастают эти виды, до оледенения были, скорее всего, распространены по всей Европе. В Предуралье местообитания, в которых произрастают эти виды, смогли сохраниться благодаря наличию известковых отложений, создающих благоприятные условия для их сохранения (Брадис, 1951). Большинство перигляциальных реликтов встречаются выше границы леса. Исключение составляют шесть видов (*B. nana*, *C. serotina*, *O. insectifera*, *P. fruticosa*, *P. vulgaris* и *S. ferrugineus*). Два вида – *Carex serotina* и *Pentaphylloides fruticosa* – встречаются в местообитаниях ниже 1200 м над у.м. На ЮУ оба вида приурочены к заболоченным местообитаниям. В Зауралье из видов перигляциального комплекса встречаются только эти два вида. Один из локалитетов *C. serotina* обнаружен в одном из болотных комплексов в восточных предгорьях ЮУ, а *P. fruticosa* – на хребте Ирэндик – отроге южно-уральских гор. В Предуралье перигляциальные реликты представлены кальцефильными болотными (*S. ferrugineus* и *C. serotina*) и лугово-болотными (*O. insectifera* и *P. vulgaris*) видами. Эти четыре вида встречаются на болотах, преимущественно на северо-востоке РБ в Месягутовской лесостепи. Среди кальцефильных видов наибольшее распространение имеет европейский вид *S. ferrugineus*. Кроме этих видов в Предуралье на одном из карбонатных болот (Сикиязское болото) произрастает евросибирский вид *B. nana*, характерный для тундр, лесотундр, сфагновых и гипсовых болот (Мулдашев, 2021а). Таким образом, основными местообитаниями реликтовых видов перигляциального комплекса являются карбонатные болота и растительные сообщества высокогорий. Причина сохранения этих видов на известковых болотах – особый температурный режим и эдафические условия (Baisheva et al., 2020).

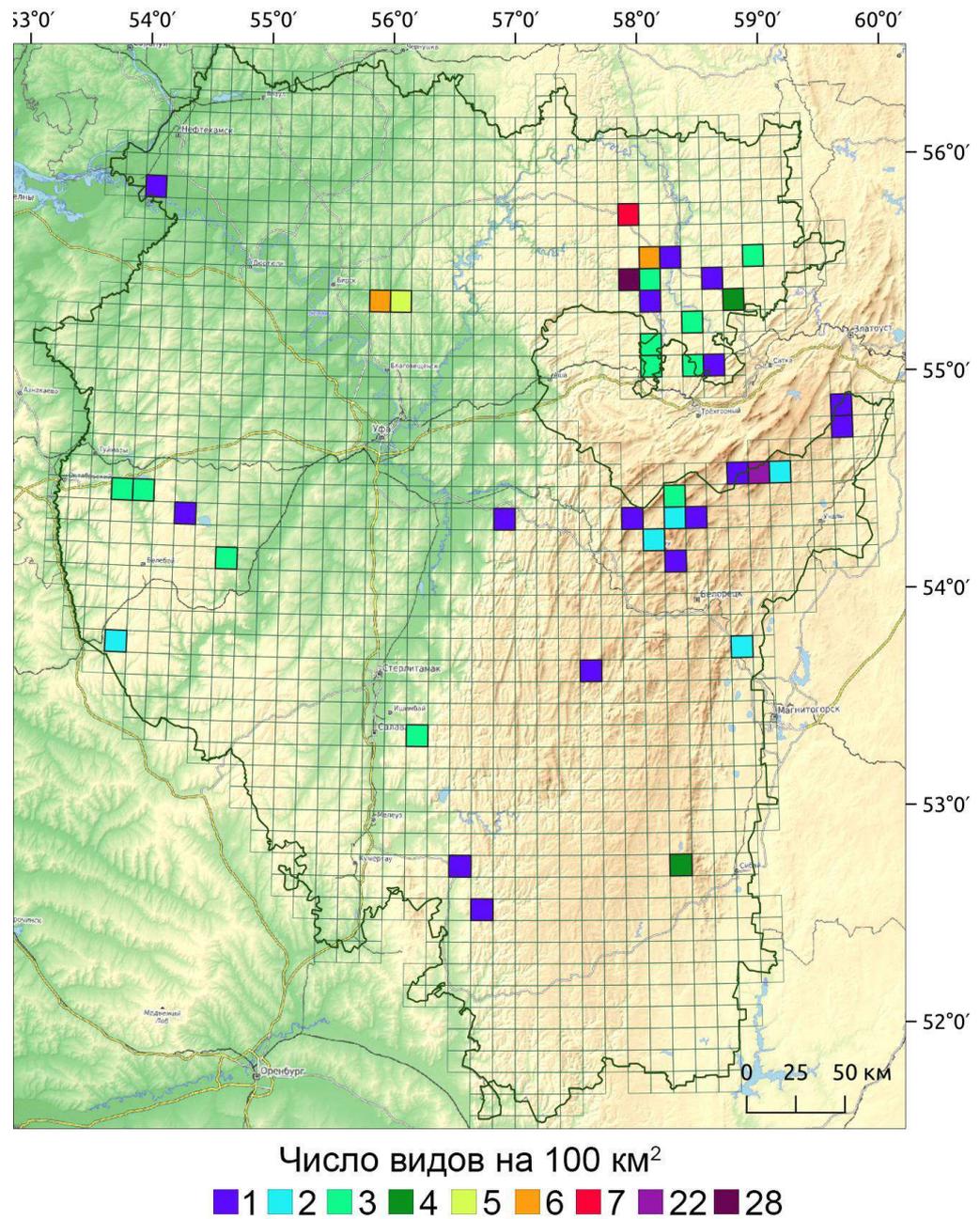


Рисунок 3.1 – Основные местообитания перигляциальных реликтовых видов плейстоценового комплекса на Южном Урале.

3.2 Эколого-ценотические группы редких реликтовых видов плейстоценового комплекса Южного Урала

Реликты плейстоценового комплекса – понятие региональное, так как обычно в качестве реликта вид встречается на конкретной территории за пределами основного современного ареала. Реликтовые виды

плейстоценового комплекса ЮУ по эколого-ценотической приуроченности не всегда совпадают с приуроченностью в пределах основного ареала. Эти виды можно разделить на 8 групп: высокогорные, горно-лесные, лесные, горно-лесостепные, степные, пойменные луговые на солонцеватых почвах, лугово-опушечные, а также группу болотных и лугово-болотных (табл. 3.1).

Таблица 3.1 – Эколого-ценотические группы редких реликтовых видов плейстоценового комплекса на Южном Урале

№	Вид	Основной ареал вида	Основные местообитания на Южном Урале (по базе данных по распространению реликтовых видов на ЮУ)
Высокогорные реликты			
1	<i>Patrinia sibirica</i>	Урал, Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток, Средняя Азия, Джунгария, Монголия (Ильинская, 1958)	Сухие каменистые горные тундры, остепненные скалы, выходы горных пород и каменистые степи
2	<i>Androsace lehmanniana</i>	Азия, Западная и Северная Америка, Кавказ (Куликов, 2005; Шишкин, Бобров, 1952)	Гольцовые вершины в наиболее возвышенной части ЮУ
3	<i>Carex aterrima</i>	Европа, Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток, Средняя Азия (Малышев, 1990)	Высокогорные болота с торфянистыми переувлажненными почвами
4	<i>Lloydia serotina</i>	Арктика, Европа, Кавказ, Средняя Азия, Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток (Комаров, 1935).	Горно-тундровый пояс, травяно-моховые тундры
5	<i>Arctous alpina</i>	Арктика, Европа, Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток, Средняя Азия, Северная Америка (Буш, Пояркова, 1952)	Кустарничково-моховые тундры в гольцовом поясе
6	<i>Pedicularis oederi</i>	Арктика, Европа, Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток, Средняя Азия (Введенский, 1955)	Гольцовый пояс, щебнистые почвы в сообществах различных горных тундр
7	<i>Potentilla gelida</i>	Кавказ, Западная и Восточная Сибирь, Средняя Азия (Юзепчук, 1941)	Горные тундры, приучьевые лужайки в гольцовом поясе
8	<i>Koeleria ledebourii</i>	Западная и Восточная Сибирь (Гончаров, 1934)	Травяно-моховые и кустарничково-моховые тундры в гольцовом поясе, остепненные базальтовые останцовые скалы, каменистые степи, органогенно-щебнистые и каменистые почвы

Продолжение таблицы 3.1

9	<i>Minuartia uralensis</i>	Арктическая часть Восточной Европы, Урал, Западная Сибирь и Средняя Азия (Красная книга ..., 2021)	Подгольцовый и гольцовый пояса, расщелины базальтовых скал, разреженные каменистые степи
10	<i>Salix arbuscula</i>	Арктика, Европа, Кавказ, Западная и Восточная Сибирь, Средняя Азия, Китай, Северная Америка (Назаров, 1936)	Травяно-моховые тундры, щебнистые террасовидные уступы
11	<i>Salix arctica</i>	Арктика, Европа, Дальний Восток (Назаров, 1936)	Горные тундры, каменистые почвы
12	<i>Dryas subincisa</i>	Арктика, Европа, Западная Сибирь и восточная Сибирь (Юзепчук, 1941)	Горные тундры в гольцовом поясе
13	<i>Juncus castaneus</i>	Арктика, Дальний Восток. Горы Европы, Фенноскандия, Шотландия, Исландия, Северная Америка (Кречетович, Гончаров, 1935)	Горные тундры
14	<i>Potentilla nivea</i>	Арктика, Средняя и Восточная Европа, Кавказ, Западная и Восточная Сибирь, Средняя Азия (Красная книга ..., 2021; Юзепчук, 1941)	Базальтовые скалы и замшелые осыпи под ними
15	<i>Silene paucifolia</i>	Арктика (Шишкин, 1936)	Кустарничково-моховые горные тундры
16	<i>Dianthus repens</i>	Арктика, Восточная Сибирь, Дальний Восток (Шишкин, 1936)	Горные тундры и петрофитные степи
17	<i>Betula nana</i>	Арктика (Кузенева, 1936)	Осоково-сфагновое болото
18	<i>Oxytropis sordida</i>	Арктика, Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток (Федченко, Васильченко, 1948)	Базальтовые скальные выходы
19	<i>Thalictrum alpinum</i>	Арктика, Северный Урал, Кавказ, Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток, Средняя Азия (Невский, 1937б)	Травяно-моховая тундра
Горно-лесостепные реликты			
1	<i>Delphinium uralense</i>	Южный Урал (Невский, 1937а)	Каменистые степи
2	<i>Linaria debilis</i>	Южный Урал, Западная Сибирь (Куприянова, 1955)	Петрофитные степи и скалы
3	<i>Linaria uralensis</i>	Южный Урал, Западная Сибирь (Куприянова, 1955)	Скальные выходы и щебнистые склоны с сильнокаменистыми почвами
4	<i>Phlox sibirica</i>	Западная и Восточная Сибирь (Васильев, 1953)	Петрофитные и луговые степи, остепненных луга

Продолжение таблицы 3.1

5	<i>Scorzonera glabra</i>	Европа, Западная и Восточная Сибирь (Липшиц, 1964)	Каменистые степи и скалы в лесном поясе, реже подгольцовый пояс
6	<i>Potentilla arenosa</i>	Восточная Сибирь (Юзепчук, 1941)	Выходы камней, скалы, реже петрофитные степи, горные вершины, скальные останцы и гребни
7	<i>Potentilla agrimonioides</i>	Кавказ (Юзепчук, 1941)	Каменистые горные степи, остепненные скалы
8	<i>Helianthemum nummularium</i>	Европа, Кавказ (Юзепчук, 1949)	Каменистые склоны и осыпи, разреженные березняки и сосняки, остепненные луга и каменистые степи, скалы по берегам рек
9	<i>Orostachys thysiflora</i>	Европейская часть России, Западная Сибирь, Средняя Азия (Борисова, 1939)	Скалы, каменистые склоны
10	<i>Vicia multicaulis</i>	Арктика, Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток (Федченко, 1948)	В каменистых степях и на остепненных лугах, опушках, реже в разреженных лесах, на скальных выходах
11	<i>Artemisia bargusinensis</i>	Западная и Восточная Сибирь (Поляков, 1961)	Каменистые степи
Лесные реликты			
1	<i>Zigadenus sibiricus</i>	Восточная Европа, Сибирь, Дальний Восток (Кузенева, 1935)	Приречные зеленомошные и зеленомошно-травяные еловые и сосновые, реже лиственничные леса, скальные полки
2	<i>Cardamine trifida</i>	Европа, Дальний Восток, Монголия, Китай (Флора Сибири, 1994)	Смешанные сырые леса, влажные луга, берега ручьев
3	<i>Allium microdictyon</i>	Урал, Кавказ, Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток (Введенский, 1935)	Широколиственно-темнохвойные и вторичные леса
4	<i>Schizachne callosa</i>	Европа, Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток (Рожевиц, 1934)	Пихтово-еловый лес
Болотные и лугово-болотные			
1	<i>Schoenus ferrugineus</i>	Европа (Рожевиц, 1935)	Травяно-моховые эвтрофные болота
2	<i>Gentianopsis barbata</i>	Арктика, Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток, Средняя Азия (Гроссгейм, 1952)	Окраины болот, берега рек и озер, заболоченные и солонцеватые луга, лесные опушки, луговые понижения в степи, заболоченные разреженные леса

3	<i>Pinguicula vulgaris</i>	Арктика, Европа, Кавказ, Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток (Штейнберг, 1958)	Осоково-гипновые, реже осоково-сфагновые болота
4	<i>Carex serotina</i>	Европа, Восточная Сибирь, Кавказ (Кречетович, 1935)	Осоково-гипновые, реже осоково-сфагновые болота, сырые луга, карбонатные болота, берега мелких озерков
5	<i>Ophrys insectifera</i>	Европа (Невский, 1935)	Карбонатные болота и их окраины, сырые луга, леса, кустарники, заброшенные известняковые карьеры
Горно-лесные реликты			
1	<i>Melilotoides platycarpus</i>	Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток, Средняя Азия (Гроссгейм, 1945)	Редкостойные смешанные леса, опушки, поляны и луга, поймы рек
2	<i>Pentaphylloides fruticosa</i>	Арктика, Европа, Кавказ, Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток, Средняя Азия (Юзепчук, 1941).	Заболоченные ельники, прибрежные заросли кустарников, каменистые степи, скалы
Лугово-опушечные реликты			
1	<i>Allium obliquum</i>	Юг европейской части России, Западная и Восточная Сибирь, Средняя Азия (Введенский, 1935)	Лесистые и остепненные склоны, луговые степи, заросли степных кустарников
Степные реликты			
1	<i>Paeonia hybrida</i>	Западная Сибирь и Средняя Азия (Шипчинский, 1937)	Луговые степи, заросли степных кустарников
Пойменные луговые реликты на солонцеватых почвах			
1	<i>Allium hymenorhizum</i>	Западная Сибирь и Средняя Азия (Введенский, 1935)	Слабозасоленные пойменные луга
2	<i>Gentiana decumbens</i>	Западная и Восточная Сибирь, Средняя Азия (Гроссгейм, 1952)	Засоленные пойменные, слабо остепненные луга

Высокогорные реликты. В эту группу входят 19 видов, произрастающих преимущественно выше границы распространения леса (табл. 3.1; рис. 3.2А) в тундровых сообществах, в подгольцовых лугах, на горных осыпях, скалах, каменистых склонах, а также на высокогорных болотах. К этой группе относятся 13 перигляциальных реликтов арктической флоры (*Arctous alpina*, *Dryas subincisa*, *Pedicularis oederi* и др.) и южносибирского происхождения (*Koeleria ledebourii*) (Горчаковский, 1969;

Горчаковский, Шурова, 1982; Куликов, 2005). Из высокогорных реликтов не входят в перигляциальный комплекс виды *Minuartia uralensis* и *Potentilla nivea*. *M. uralensis* – арктоальпийский вид, произрастающий преимущественно на скалах, а *P. nivea* – голарктический вид, который на ЮУ также встречается на базальтовых скалах. В горных тундрах встречаются также гипоарктоальпийский вид *Salix arbuscula* и метарктический вид *Silene paucifolia*, для которых в литературе нет указаний об их принадлежности к перигляциальному комплексу. Кроме того, к этой группе отнесен не отмеченный как перигляциальный вид *Patrinia sibirica*, так как его наибольшие по размерам локалитеты приурочены к горным тундрам, но также вид встречается в петрофитных степях на выходах материнских пород восточных предгорий ЮУ, где он сохранился при изменении климата вследствие низкой конкуренции в узкостенотопных местообитаниях.

К этой группе также отнесен вид *Betula nana*, единственное местообитание которого на территории РБ находится на Сикиязском карбонатном болоте (Салаватский район РБ) (Мулдашев, 2021а), но который на Среднем Урале встречается в горных тундрах и лесотундрах выше границы леса (Кузенева, 1936).

Виды группы высокогорных реликтов в настоящее время широко распространены в арктической области или даже циркумполярной области Евразии, но как показывают примеры *P. sibirica* и *B. nana*, виды могут встречаться и в изолированных стенотопных местообитаниях с пониженной конкуренцией за пределами основного экологического ареала.

Горно-лесостепные реликты. К этой группе отнесены 11 видов, произрастающих преимущественно в петрофитных степях, которые достаточно широко распространены на восточном макросклоне ЮУ, в Зауралье и на Зилаирском плато (табл. 3.1, рис. 3.2Б). В Предуралье этот тип местообитаний распространен на Бугульминско-Белебеевской возвышенности. Петрофитные степи имели широкое распространение в лесостепных ландшафтах плейстоцена (Горчаковский, 1968), и их достаточно

высокое современное распространение на ЮУ связано с сохранением в ряде районов семиаридного климата, а также с постоянным формированием обнажений материнских пород вследствие водно-ветровой эрозии и перевыпаса скота. Виды этой группы имеют большее распространение по сравнению с видами предыдущей группы: четыре из них на территории РБ имеют более 30 локалитетов и только три вида – менее 10. К этой группе относятся: *Artemisia bargusinensis*, *Helianthemum nummularium*, *Linaria uralensis*, *Linaria debilis*, *Phlox sibirica*, *Potentilla arenosa*, *Potentilla agrimonioides*, *Scorzonera glabra*, *Vicia multicaulis*, *Orostachys thyrsoiflora*, *Delphinium uralense*.

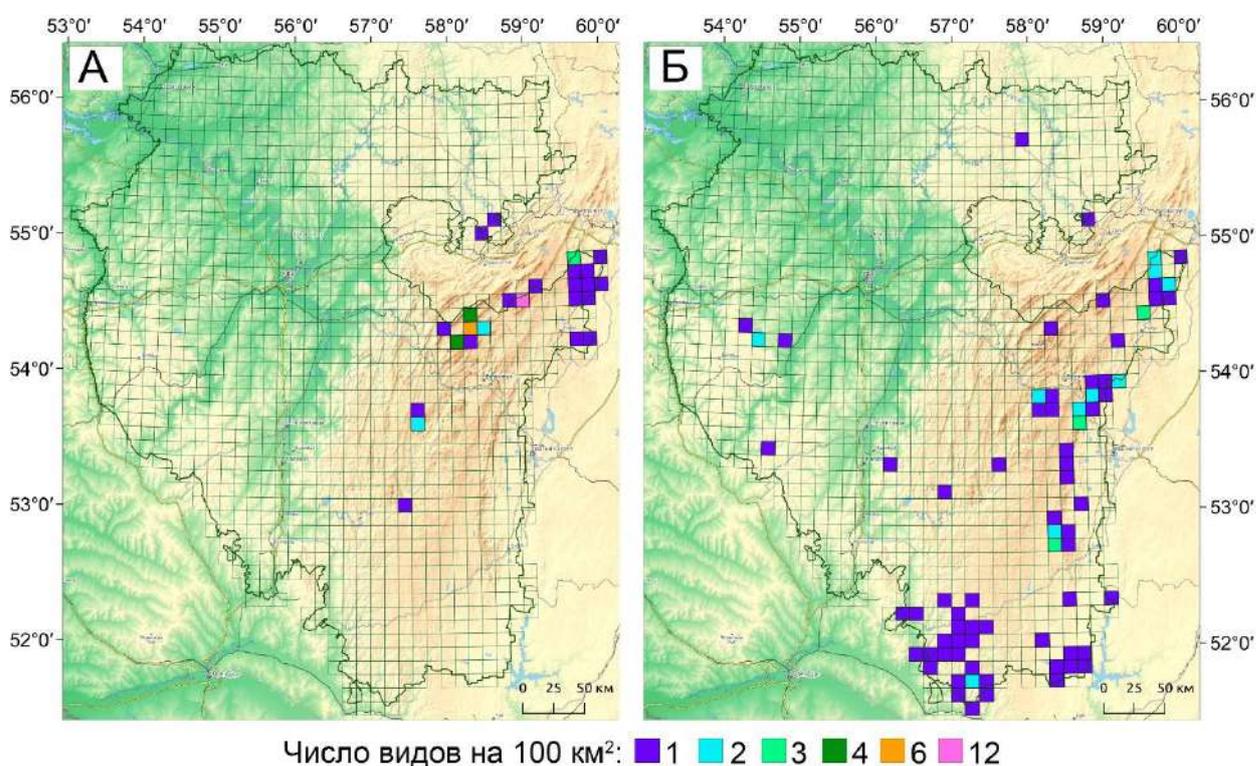


Рисунок 3.2 – Распространение высокогорных (А) и горно-лесостепных (Б) эколого-ценотических групп видов растений плейстоценового комплекса на территории Республики Башкортостан.

Лесные реликты. В эту группу входят четыре вида: *Zigadenus sibiricus*, *Cardamine trifida*, *Allium microdictyon* и *Schizachne callosa* (табл. 3.1, рис. 3.3А). Наибольшее число локалитетов выявлено у вида *Z. sibiricus*. На ЮУ этот вид

наиболее распространен в еловых и сосновых зеленомошных лесах, а также на скалах Уфимского плато и на крутых берегах горных рек. Вид *C. trifida* произрастает в зеленомошных хвойных и разреженных пойменных лесах, а *A. microdictyon* обнаружен в мезофитных широколиственных и широколиственно-темнохвойных лесах, а также в сфагновом березняке (Мулдашев, Абрамова, 2021). Единичный локалитет вида *A. microdictyon* выявлен в елово-пихтовом осоковом лесу. В целом, все лесные плейстоценовые реликтовые виды произрастают преимущественно в хвойных и смешанных хвойно-широколиственных лесах ЮУ и Уфимского плато.

Болотные и лугово-болотные реликты. К этой группе относятся пять видов: *Carex serotina*, *Ophrys insectifera*, *Pinguicula vulgaris*, *Schoenus ferrugineus*, а также *Gentianopsis barbata* (табл. 3.1, рис. 3.3Б). Эти виды, кроме *G. barbata*, произрастают на карбонатных болотах, распространение которых

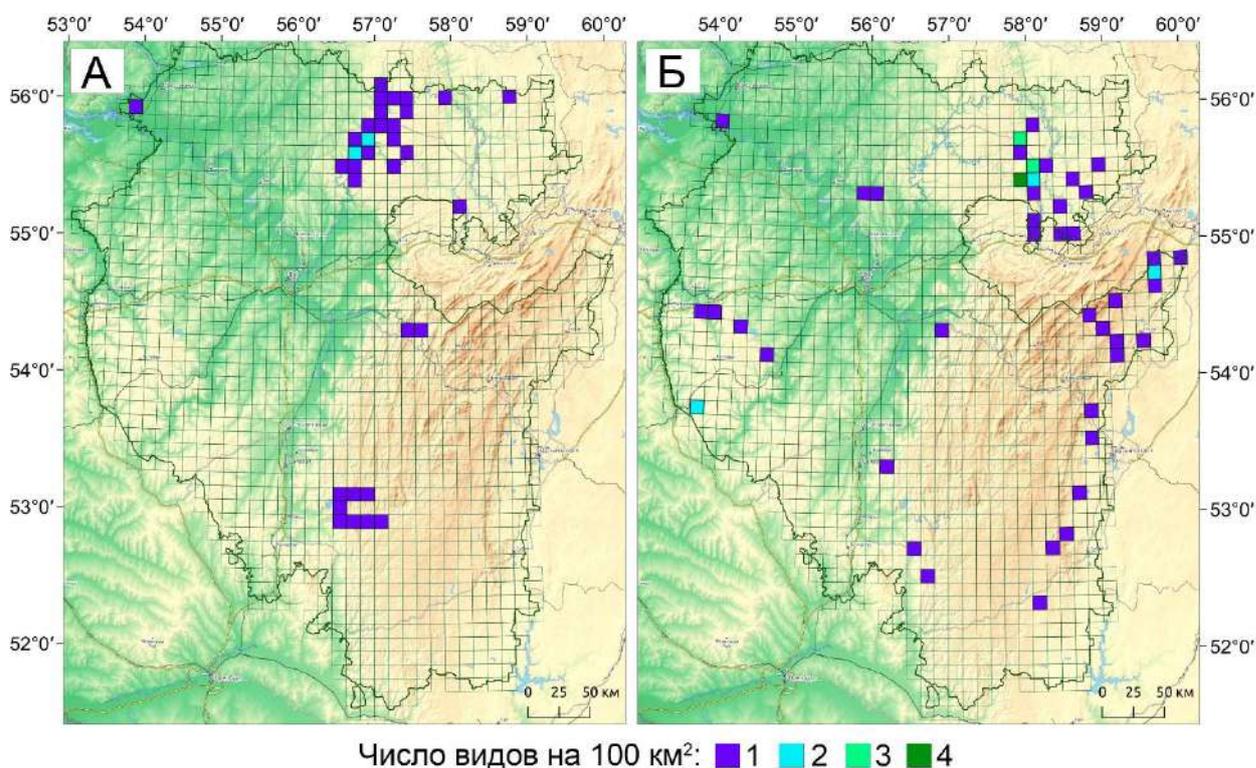


Рисунок 3.3 – Основные местообитания лесных (А) и болотных и лугово-болотных (Б) эколого-ценотических групп видов растений плейстоценового комплекса на Южном Урале.

резко снизилось в XX веке вследствие осушения для добычи торфа и использования в качестве сельскохозяйственных угодий (Гуленок и др., 1989). Вид *G. barbata* на ЮУ произрастает по периметру болот и на заболоченных участках леса.

Горно-лесные реликты. В эту группу входят всего два вида – *Melilotoides platycarpus* и *Pentaphylloides fruticosa*, произрастающих преимущественно в среднегорной и возвышенной части ЮУ и на его восточном макросклоне в зоне распространения темнохвойных и сосново-березовых лесов (табл. 3.1, рис. 3.4А). Вид *M. platycarpus* произрастает на влажных полянах и в березняках (Маслова, 2021). Вид *P. fruticosa* – еще более редкий на Южном Урале – встречается в заболоченных ельниках, но при этом не является типично лесным видом, т.к. произрастает и в каменистых степях на хребте Ирндык. Такой экологический разброс характерен для этого вида и в пределах основного ареала. Он способен произрастать даже в условиях вечной мерзлоты, но во всех точках своего ареала тяготеет к горным местообитаниям, однако также он может встречаться на сырых местах и на сухих бедных почвах (Комаревцева, 2007).

Лугово-опушечные реликты. К этой группе относится только один вид – *Allium obliquum*, имеющий 43 локалитета, встречающихся почти на всей территории РБ (табл. 3.1, рис. 3.4Б). На ЮУ он произрастает на лугах, лесистых и остепненных склонах, в луговых степях, зарослях степных кустарников на различных породах и типах почв (Мулдашев и др., 2021б). В пределах основного ареала вид встречается в достаточно разнообразных условиях произрастания: на горных лесных лугах, по закустаренным степным склонам гор и берегам горных рек (Фризен, 1987; Плаксина, 2001; Эбель, 2012).

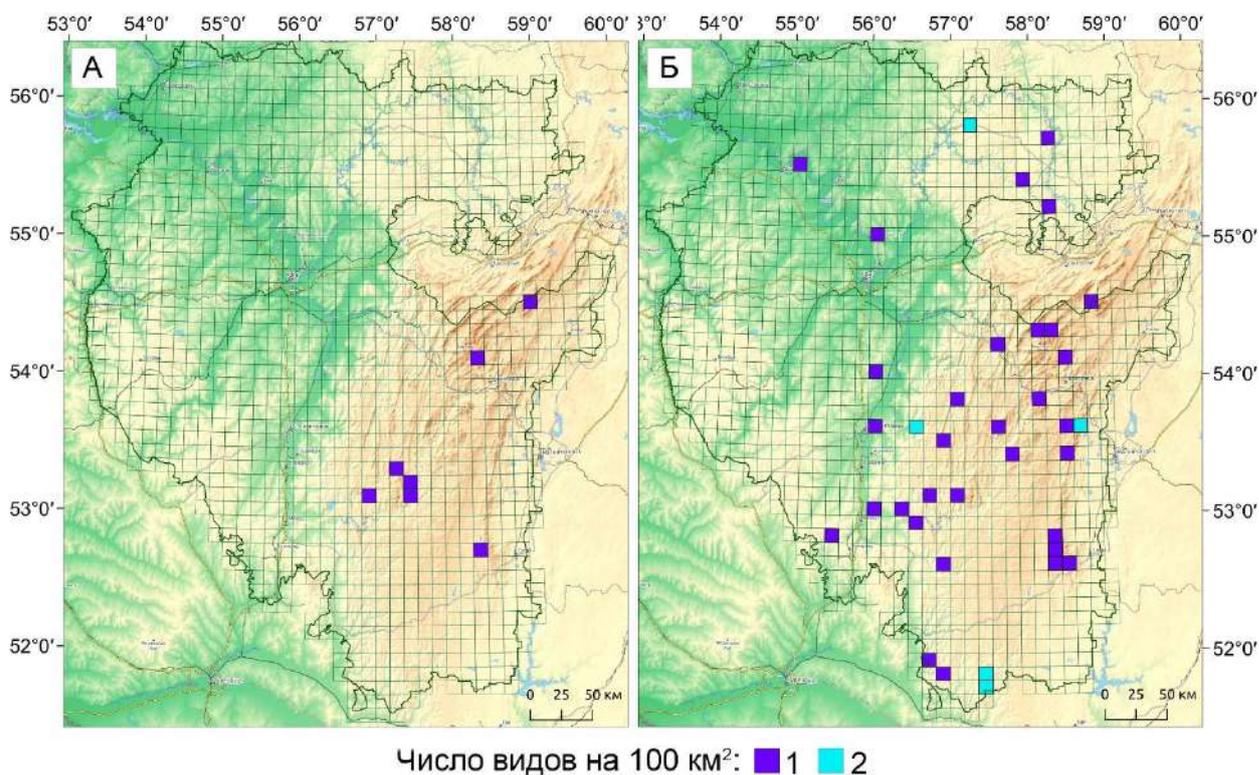


Рисунок 3.4 – Основные местообитания горно-лесных (А) и лугово-опушечных (Б) эколого-ценотических групп видов растений плейстоценового комплекса на Южном Урале.

Степные плейстоценовые реликты. К этой группе относится только один вид – *Paeonia hybrida* (табл. 3.1, рис. 3.5А). Он произрастает в луговых степях и зарослях кустарников в Зауралье (Мулдашев и др., 2021в). В пределах основного ареала этот вид встречается в лесах, на опушках, лесных и степных лугах, открытых травянистых или каменистых склонах холмов, в зарослях степных кустарников (Флора Сибири, 1993; Красноборов и др., 2012).

Пойменные луговые реликты на солонцеватых почвах. К этой группе можно отнести два вида – *Allium hymenorhizum* и *Gentiana decumbens* (табл. 3.1, рис. 3.5Б). Вид *A. hymenorhizum* на территории РБ встречается на слабозасоленных злаково-разнотравных пойменных лугах (Мулдашев и др., 2021а), однако в пределах основного ареала произрастает на мелкоземистых и каменистых склонах, в лесных и субальпийских лугах (Фризен, 1987; Красноборов и др., 2012). *G. decumbens* на ЮУ встречается на засоленных и слабо остепненных лугах (Мулдашев, 2021б), а за его пределами – на

альпийских лугах, каменистых и щебнистых склонах, открытых каменистых склонах и в настоящих степях (Определитель ..., 1979; Красноборов и др., 2012).

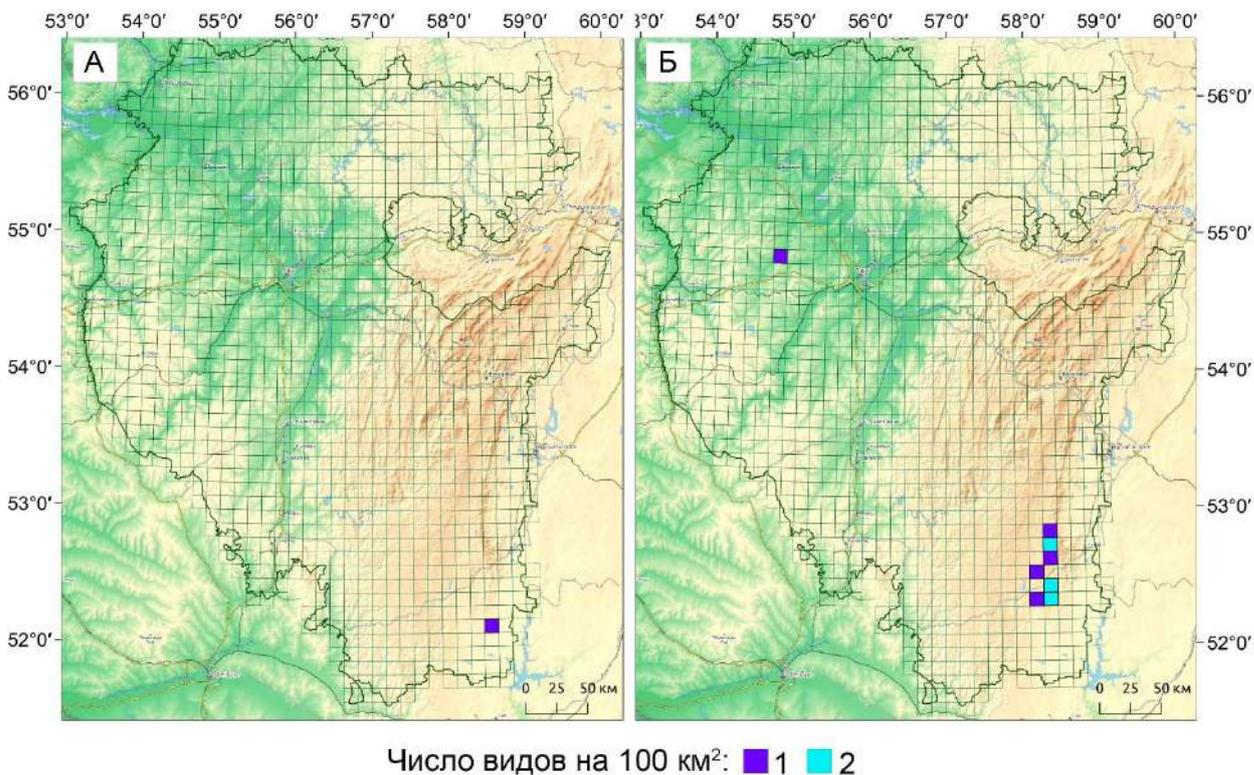


Рисунок 3.5 – Основные местообитания степных (А) и пойменных луговых на солонцеватых почвах (Б) эколого-ценотических групп реликтовых видов плейстоценового комплекса на Южном Урале.

Таким образом, основными рефугиумами, в которых сохранились реликтовые виды плейстоценового комплекса, являются растительные сообщества выше границы распространения леса, петрофитные степи и болота. Кроме того, эти виды встречаются на скальных обнажениях и в редких зеленомошных типах хвойных лесов (Горчаковский, 1969; Мулдашев, 2016). Реликты плейстоценового комплекса практически отсутствуют в равнинной части Предуралья и на западном макросклоне ЮУ, что связано с расширением распространения широколиственных лесов в середине голоцена и с антропогенным воздействием (Горчаковский, 1968; Смирнов и др., 1990; Fedorov et al., 2020). Наибольшее видовое разнообразие отмечается в группе

высокогорных реликтов в связи с большим разнообразием условий местообитаний выше границы распространения леса, а наибольшее количество известных местообитаний – у видов горно-лесостепной группы вследствие большего распространения петрофитных степей.

Глава 4. АНАЛИЗ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ АРЕАЛОВ МОДЕЛЬНЫХ РЕЛИКТОВЫХ ВИДОВ ПЛЕЙСТОЦЕНОВОГО КОМПЛЕКСА НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

В качестве модельных видов для анализа потенциальных ареалов реликтовых видов плейстоценового флористического комплекса ЮУ использованы семь видов, представляющих пять эколого-ценотических групп: высокогорные (*Patrinia sibirica*), горно-лесостепные (*Linaria uralensis* и *Delphinium uralense*), лесные (*Zigadenus sibiricus*), болотные и лугово-болотные (*Schoenus ferrugineus* и *Gentianopsis barbata*), а также лугово-опушечные (*Allium obliquum*). Виды остальных трех эколого-ценотических групп на территории ЮУ имеют менее 10 локалитетов, что недостаточно для проведения моделирования (Hernandez et al., 2006, Wisz et al., 2008; Дудов, 2016 и др.).

Patrinia sibirica (патриния сибирская) – многолетний травянистый вид высотой 5-20 см, размножающийся семенами (Маслова, Абрамова, 2021). Основной ареал вида – Западная и Восточная Сибирь, Дальний Восток, Средняя Азия, Джунгария (Китай) и Монголия (Ильинская, 1958; Флора Европейской части СССР, 1978). Этот вид произрастает на каменистых, хорошо инсолируемых склонах гор, плакорных вершинах хребтов, а также в каменистых степях (Горчаковский, 1975). Он включен в Красные книги Челябинской области (Подгаевская, 2017) и Республики Башкортостан (Абрамова, 2011) как редкий вид и относят к плейстоценовым горно-степным реликтам южно-сибирского происхождения. Однако на ЮУ *P. sibirica* также встречается и в наиболее возвышенных частях ЮУ, где достаточно холодный и влажный климат. Таким образом, он относится к группе видов с двумя оптимумами произрастания – в горной лесостепи и в субальпийской области, которые, видимо, имели достаточно широкое распространение в древних бореально-ксерофитных биотопах плейстоценового флористического комплекса.

Известно, что у стенотопных петрофитных видов, произрастающих в таких специфических эдафических условиях, обычно имеется ряд стресс-толерантных функциональных признаков, в том числе устойчивость к экстремальным значениям влажности (Damschen et al., 2012; Spasojevic et al., 2014). Одним из механизмов адаптации *P. sibirica*, возможно, также является достаточно короткий период от начала вегетации до цветения и от начала цветения до плодоношения (Абдуллина, 2012), что позволяет растениям приспособиться как к условиям относительно короткого периода вегетации в горах, так и к развитию в степи до начала засушливого периода. Адаптация к условиям засух, вероятно, также объясняется тем, что каменистые местообитания часто демонстрируют большую эдафическую неоднородность, обеспечивая мозаику мелкомасштабных вариаций экологически значимых переменных, включая влажность почвы (Rossington et al., 2018; Byrne et al., 2019; Corlett, Tomlinson, 2020) и мелкомасштабную вариабельность температуры (Corlett, Tomlinson, 2020).

Основные местообитания вида в горно-лесной зоне находятся в растительных сообществах союза *Anemonastro sibiricae-Festucion ovinae* Chytry et al. 1993 (класса *Caricetea curvulae* Br.-Bl. 1948), приуроченным преимущественно к горным вершинам выше границы распространения леса. Этот вид также может встречаться в сообществах союза *Loiseleurio-Vaccinion* Br.-Bl. in Br.-Bl. et Jenny 1926 (класса *Loiseleurio-Vaccinietae* Egger 1952).

Для моделирования потенциального ареала *P. sibirica* были использованы данные о 23 горно-лесных и 20 горно-лесостепных локалитетов, а также 40 геопривязанных точек местонахождений этого вида на территории Западной и Восточной Сибири. Результирующая модель современного потенциального ареала *P. sibirica* на ЮУ имеет показатель AUC – 0,99, что соответствует высокому уровню качества модели (Swets, 1988). Наибольший вклад в построение модели имели следующие переменные: изотермальность (Bio3) (отношение суточных колебаний температуры воздуха к годовой амплитуде температур) и температурная сезонность (Bio4) (стандартное

отклонение среднемесячных температур), а также температура (Bio10) и количество осадков (Bio18) в самый теплый квартал. Несмотря на важность показателя грубых обломков (cfvo), он имел вклад всего 10,3% (табл. 4.1). Наименьший вклад (5,1%) имел Bio14 (количество осадков в наиболее сухой месяц – январь), что объясняется тем, что толщина снежного покрова для этого вида не имеет существенного значения, так как он достаточно морозоустойчив и встречается даже в циркумполярной зоне.

Таблица 4.1 – Оценка вклада экологических переменных в модель современного потенциального ареала *Patrinia sibirica* на территории Южного Урала, %

Код	Переменные среды	Процент вклада (Percent contribution)	Тест перестановок (Permutation importance)
Bio3	Изотермальность	29,3	44,2
Bio4	Температурная сезонность	25,9	23,7
Bio10	Средняя температура наиболее теплого квартала	15,7	27,4
Bio18	Количество осадков в наиболее теплый квартал	13,7	0,8
cfvo	Грубые обломки	10,3	2,1
Bio14	Количество осадков в наиболее сухой месяц	5,1	1,8

На рисунке 4.1 показаны результаты моделирования пригодности условий местообитания *P. sibirica* на ЮУ. Условия местообитания подразделены на 4 градации: непригодные (0–0,34), низкопригодные (0,35–0,60), среднепригодные (0,61–0,84) и высокопригодные (0,85–1,00). Нижняя граница пригодности – самое низкое значение пригодности условий местообитания для известных локалитетов этого вида на ЮУ. Из рисунка 4.1 видно, что в некоторых случаях несмотря на наличие высокопригодных

условий местообитания вид не обнаружен. По результатам анализа пригодности условий местообитания на территориях известных локалитетов *P. sibirica* было установлено, что 28 локалитетов имеют высокопригодные условия для произрастания, 6 – среднепригодные, 8 – низкопригодные и 1 – непригодные. Все локалитеты со среднепригодными и низкопригодными условиями местообитания относятся к группе горно-лесостепных локалитетов.

Из рисунка 4.1 видно, что на некоторых территориях с высокой пригодностью местообитания вид *P. sibirica* отсутствует. Так, его нет в южной

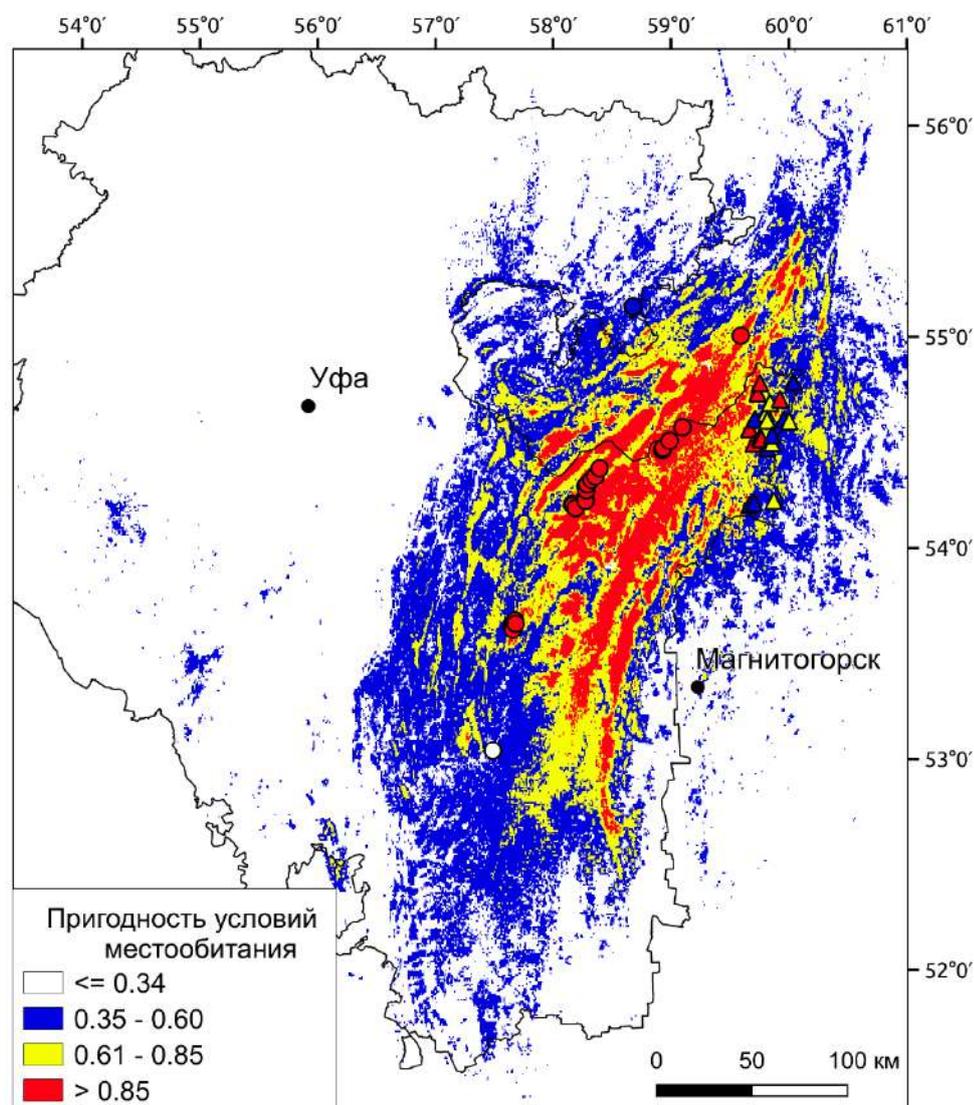


Рисунок 4.1 – Современный потенциальный ареал и известные локалитеты *Patrinia sibirica* на Южном Урале. Кружками обозначены горно-лесные, а треугольниками – горно-лесостепные локалитеты.

части восточного макросклона ЮУ (юго-восточная часть области высокопригодных условий местообитания западнее г. Магнитогорск). Вероятно, это связано с тем, что в период самого теплого и более влажного климата в голоцене (около 5-6 тыс. лет назад) происходило расширение границ распространения лесов (Хотинский и др., 1982). В связи с этим значительная часть современных пригодных для вида каменистых открытых местообитаний могла быть занята иной, прежде всего древесной растительностью. При моделировании в Башкирском Предуралье на Белебеевской возвышенности в степных и лесостепных ландшафтах на высотах более 400 м над уровнем моря выявлены относительно небольшие по площади участки с низкопригодными условиями местообитания для вида. Отсутствие в этих местообитаниях *P. sibirica*, вероятно, связано с тем, что большая часть выходов горных пород представлена пермскими песчаниками, на которых из-за их непрочности практически полностью отсутствует наскальная флора (Fedorov et al., 2020).

Schoenus ferrugineus (схенус ржавый) – представитель группы болотных и лугово-болотных видов. Вид является плотнокустовым многолетником высотой до 30 см, который размножается семенами (Мулдашев, 2021г). *S. ferrugineus* – плюризональный вид, широко распространенный в Средней и Восточной Европе, Скандинавии, Средиземноморье (Webb, 1980; Govaerts et al., 2007; Кожин, 2014). На ЮУ вид находится на восточной границе своего ареала (Мулдашев, Мартыненко, 2010; Ивченко, Куликов, 2013). Включен в Красные книги РБ (Мулдашев, 2021г) и Карелии (Кузнецов, 2007) как редкий вид. Во всех остальных Красных книгах (Вологодской, Ленинградской, Мурманской, Псковской, Новгородской, Ульяновской и Челябинской областей) *S. ferrugineus* отмечен как вид, находящийся на грани исчезновения или исчезающий вид (Кожин, 2014; Судницына, 2014; Постановление ..., 2015; Конечная, 2015; Силаева, 2015; Князев, 2017; Татанов, 2018). Вид произрастает в специфических условиях минеротрофных болот с водами, богатыми кальцием (Wheeler et al., 1983; Ивченко, Куликов, 2013). На территории РБ, в Предуралье и на ЮУ, и на

территории Челябинской области вид встречается в сообществах минеротрофных болот союза *Caricion davallianae* Klika 1934 класса *Sceuchzerio-Caricetea fuscae* R.Тх. 1937 (Ивченко, 2012; Мартыненко и др., 2013; Baisheva et al., 2020). В настоящее время минеротрофные болота на территории России и в том числе на ЮУ в значительной степени осушены (Бабииков, 2014; Баишева и др., 2015).

Модель потенциального ареала вида построена на основе 33 точек местонахождения этого вида на ЮУ и близлежащих территориях (Республика Татарстан и Самарская область) и 221 точке местонахождения на территории остальных регионов Европейской части России и Западной Европы. При этом на каждом болоте было взято только по одной точке местонахождения этого вида. Таким образом, количество точек совпадает с количеством болот, на которых был выявлен этот редкий на территории России вид.

Для составленной модели распространения вида показатель AUC составляет 0,97, что соответствует очень хорошему качеству модели (Swets, 1988). В таблице 4.2 приведены вклады переменных в модель современного потенциального ареала *S. ferrugineus*. Наибольший вклад в модель имеют: минимальная температура наиболее холодного месяца (Bio6), количество осадков в наиболее холодный квартал (Bio19), содержание органического углерода в почве (SOC) и количество осадков в наиболее теплый квартал (Bio18). Небольшой вклад, но большое значение по тесту перестановок имела максимальная температура наиболее теплого месяца (Bio5) (табл. 4.2).

Результаты моделирования современного потенциального ареала вида *S. ferrugineus* представлены на рисунке 4.2А. Пригодность условий местообитания подразделена на четыре градации: непригодные (0–0,30), низкопригодные (0,31–0,55), среднепригодные (0,56–0,80) и высокопригодные (0,81–1,00). По результатам анализа пригодности условий местообитания на территориях известных локалитетов у вида *Schoenus ferrugineus* на ЮУ один локалитет имеет высокопригодные, 20 локалитетов – среднепригодные, 7 локалитетов – низкопригодные и 3 локалитета – непригодные условия

местообитания. Все локалитеты вида с пригодными условиями местообитания расположены в лесостепных зонах или на их границах с другими зонами, а непригодные – в зоне распространения широколиственных лесов.

Таблица 4.2 – Оценка вклада экологических переменных в модель современного потенциального ареала *Schoenus ferrugineus* на территории Южного Урала, %

Код	Переменные среды	Процент вклада (Percent contribution)	Тест перестановок (Permutation importance)
Bio6	Минимальная температура наиболее холодного месяца	29,8	48,4
Bio19	Количество осадков в наиболее холодный квартал	24,7	3,0
SOC	Содержание органического углерода	15,8	8,2
Bio18	Количество осадков в наиболее теплый квартал	13,6	3,2
Bio2	Среднегодовая среднесуточная амплитуда	6,3	5,1
Bio5	Максимальная температура наиболее теплого месяца	6,2	22,2
h _{max}	Максимальная высота над ур.м.	2,8	4,2
Bio15	Сезонность осадков	0,5	4,6
Bio8	Средняя температура наиболее влажного квартала	0,3	1,2

Высоко- и среднепригодные условия местообитания для *S. ferrugineus* приурочены к Месягутовской лесостепи, среднепригодные условия местообитания также отмечены в лесостепном районе юго-восточной части Бугульмино-Белебеевской возвышенности. На рисунке 4.2Б видно, что эти условия совпадают с распространением поверхностного проявления карбонатного карста и кластокарста, который представляет собой результат

химического и механического воздействия подземных вод на осадочные породы (глины, суглинки, лессы, песчаники, конгломераты с растворимым цементом) (Тимофеев и др., 1991). Кластокарст и карст встречаются также в Зауралье, однако там болота отсутствуют в значительной степени из-за сильно засушливого климата (рис. 4.2Б). Поверхностное проявление карста есть в горно-лесной зоне, преимущественно на склонах берегов рек. Низкопригодные условия местообитания отмечаются на южных отрогах ЮУ, а также в наиболее северной и южной частях Бугульминско-Белебеевской возвышенности. Непригодные для произрастания условия местообитания для этого вида сосредоточены в средневозвышенных и возвышенных частях ЮУ, а также в северной и южной частях РБ и в Предуралье в долине реки Белой (от г. Стерлитамака до г. Уфы). На большей части территории РБ отмечаются низкопригодные условия местообитания для вида *S. ferrugineus* на болотах. Однако большинство крупных болот было осушено в XX веке (Гуленок и др., 1989). В пользу возможного значительно большего распространения

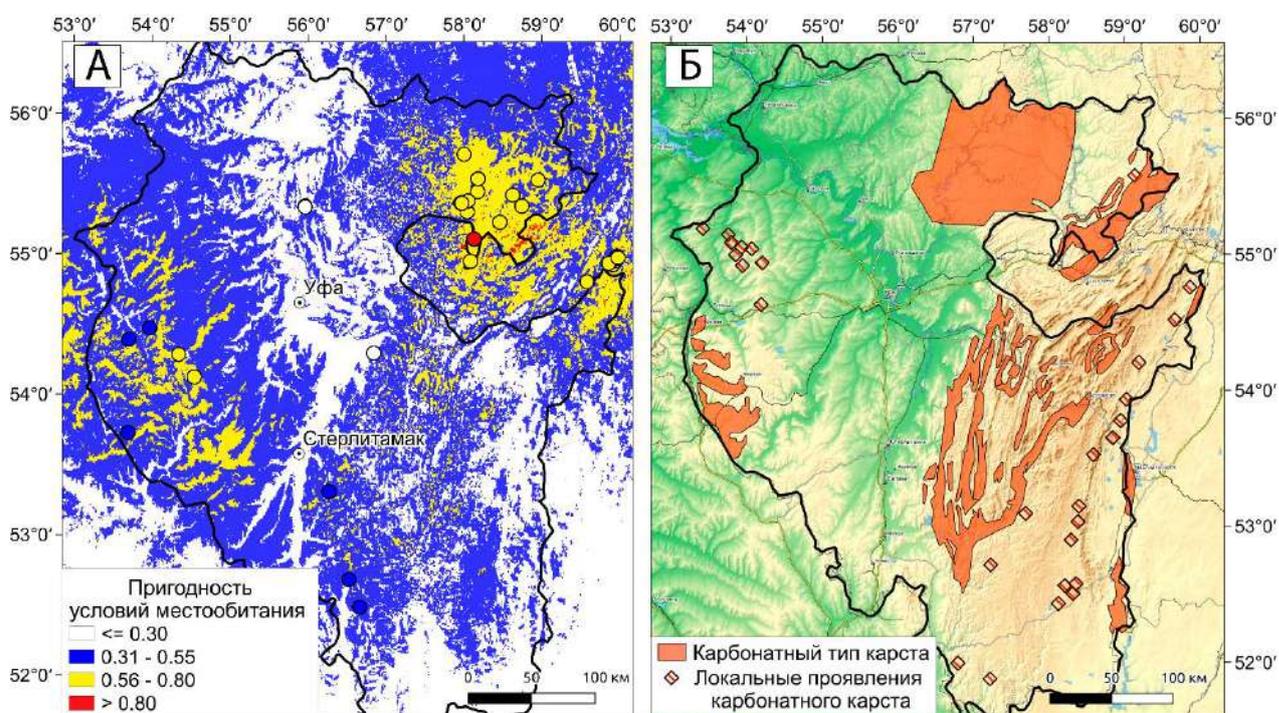


Рисунок 4.2 – Современный потенциальный ареал и известные локалитеты *Schoenus ferrugineus* на Южном Урале (А) и распространение поверхностного проявления карбонатного карста и кластокарста (Б) (Абдрахманов и др., 2005).

минеротрофных болот с участием этого вида до осушения болот может свидетельствовать высокая жесткость воды на всей территории РБ (Галеева, Байтуков, 2020).

Gentianopsis barbata (горечавник бородатый) – одно- и двулетнее травянистое растение высотой 10–60 см, размножающееся семенами (Мулдашев, Галеева, 2021). Вид распространен на Алтае, в Средней и Восточной Сибири, на Дальнем Востоке, в горах Средней Азии, Монголии и в северной части Китая (Горчаковский, 1969). Вид встречается на Южном, Среднем и Северном Урале, и по Уралу проходит западная граница ареала вида. В пределах основного ареала вид встречается на лесных лугах и опушках, на солонцеватых почвах по берегам рек, а также на субальпийских и альпийских лугах (Гроссгейм, 1952). На ЮУ этот вид произрастает по окраинам болот и на минеротрофных болотах, по берегам рек и озер, на заболоченных и солонцеватых лугах (Ивченко, Знаменский, 2016; Мулдашев, Галеева, 2021). *G. barbata* внесен в Красную книгу Республики Башкортостан как редкий вид (Мулдашев, Галеева, 2021), а в Челябинской (2017) и Омской (2015) областях – как вид, нуждающийся в особом внимании к его состоянию в природной среде и мониторинге. На территории Челябинской области вид отмечается в сообществах минеротрофных болот союза *Caricion davallianae* Klika 1934 класса *Sceuchzerio-Caricetea fuscae* R. Tx. 1937 (Ивченко, 2012).

Для построения моделей современного потенциального ареала были использованы все известные геопривязанные местонахождения этого вида на территории Урала (31, из которых 23 – находятся в РБ), а также все известные геопривязанные местонахождения вида в пределах основного ареала (122). Для построенной модели современного потенциального ареала *G. barbata* показатель AUC составил 0,95, что соответствует очень хорошему качеству модели (Swets, 1988).

В таблице 4.3 приведены вклады переменных в модель современного потенциального ареала *G. barbata* на ЮУ. Наибольший вклад в модель имеют: среднегодовая температура (Bio1), температурная сезонность (Bio4),

изотермальность (Bio3), сезонность осадков (Bio15) и средняя высота над ур. м. (h_{mean}). Средняя температура наиболее теплого квартала (Bio10) имела небольшой вклад в модель, но большое значение по тесту перестановок (28,8 %).

Таблица 4.3 – Оценка вклада экологических переменных в модель современного потенциального ареала *Gentianopsis barbata* на территории Южного Урала, %

Код	Переменные среды	Процент вклада (Percent contribution)	Тест перестановок (Permutation importance)
Bio1	Среднегодовая температура	26,6	19,1
Bio4	Температурная сезонность	17,1	11,2
Bio3	Изотермальность	14,8	16,4
Bio15	Сезонность осадков	11,4	7,9
h_{mean}	Средняя высота над ур. м.	11,1	10,4
Bio18	Количество осадков в наиболее теплый квартал	6,7	1
Bio10	Средняя температура наиболее теплого квартала	4,8	28,8
Bio19	Количество осадков в наиболее холодный квартал	3,6	0,4
Bio12	Годовые осадки	2,4	3,7
$h_{\text{max-min}}$	Разница между максимальной и минимальной высотами	1,5	1,1

Результаты моделирования современного потенциального ареала *G. barbata* представлены на рисунке 4.3. Пригодность условий местообитания подразделена на четыре градации: непригодные (0–0,25), низкопригодные (0,26–0,50), среднепригодные (0,51–0,75) и высокопригодные (0,76–1,00).

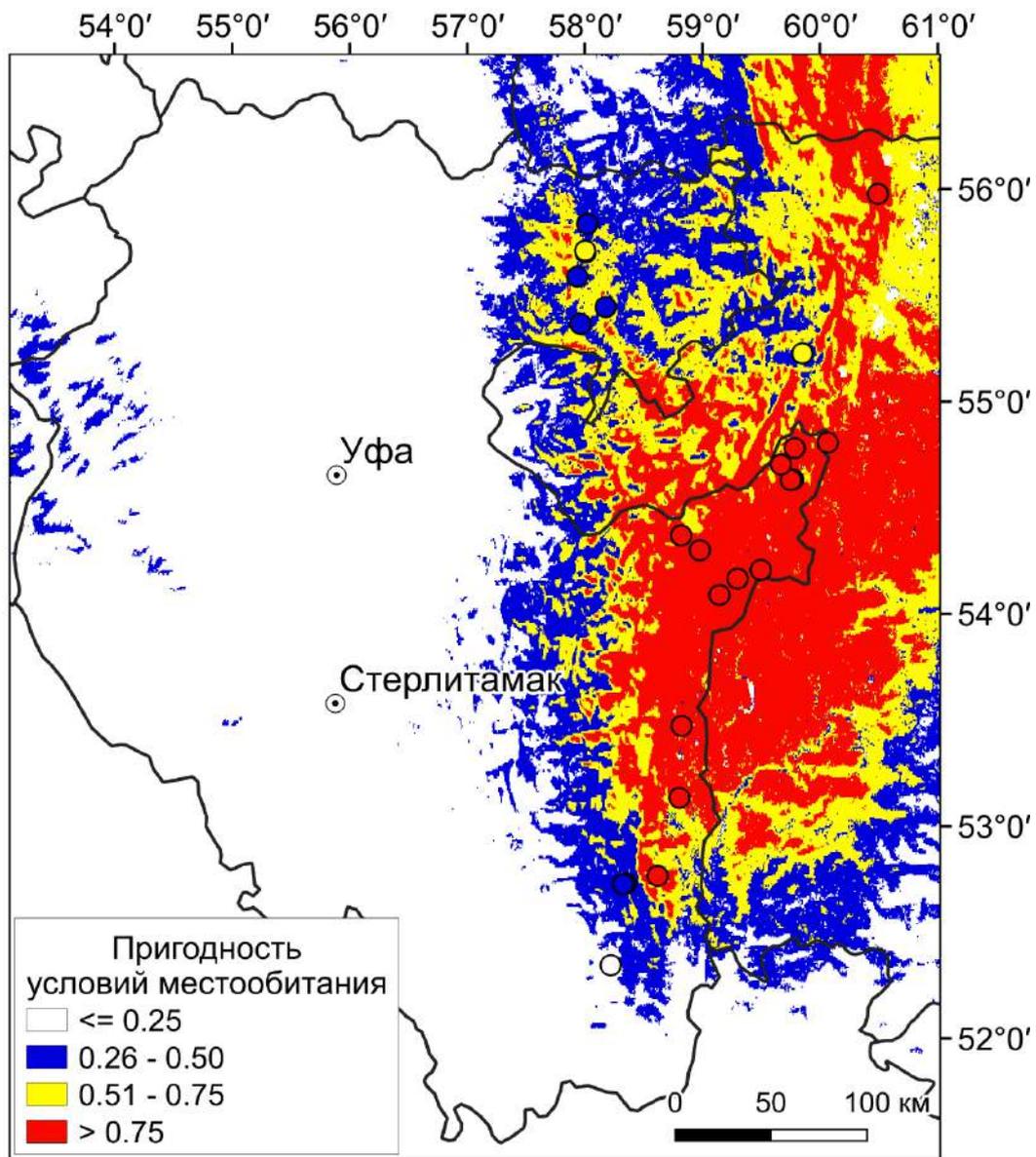


Рисунок 4.3 – Современный потенциальный ареал и известные локалитеты *Gentianopsis barbata* на Южном Урале. В правом нижнем углу – градации пригодности условий местообитания.

По результатам анализа пригодности условий местообитания на территориях известных локалитетов *G. barbata* в РБ было установлено, что из 23 локалитетов 14 точек местонахождения имели высокопригодные условия произрастания, 2 – среднепригодные, 6 – низкопригодные, а также 1 локалитет – непригодные условия местообитания. Последний локалитет находится на склоне берега реки Большой Бузавлык в 2 км от границы потенциального ареала (рис. 4.3).

Рассчитанный потенциальный ареал *G. barbata* значительно шире его реального распространения (рис. 4.3). Высоко- и среднепригодные условия местообитания широко распространены по всей территории горно-лесной и горно-лесостепной зон ЮУ и заходят на Средний Урал. Они также преобладают на восточном макросклоне ЮУ и восточных отрогах и предгорьях ЮУ. При этом пригодные условия местообитания отсутствуют в Предуралье за исключением низкопригодных условий местообитания на Бугульминско-Белебеевской возвышенности. На остальной территории Башкирского Предуралья пригодные для этого вида условия местообитания отсутствуют. Высоко- и среднепригодные условия местообитания отмечены на территории Месягутовской лесостепи и имеют большое распространение на территории Челябинской области. Это соответствует литературным данным о том, что этот вид отмечается на границе Зауралья пенеблена и Западно-Сибирской низменности, в Магнитогорско-Приуральском районе – в степной зоне Зауралья, в предгорной равнине правобережья р. Урал (Куликов, 2006). В связи с этим рассматриваемый вид не является в Челябинской области редким, но входит в список нуждающихся во внимании к его состоянию в природной среде и мониторинге (Красная книга ..., 2017).

Несмотря на приуроченность к местообитаниям с повышенным режимом увлажнения, высокопригодные условия местообитания этого вида встречаются преимущественно на территориях с достаточно засушливым климатом. При этом основные местообитания *G. barbata* связаны со слабо засоленными влажными сенокосными лугами в поймах степных рек и по берегам озер. В этих местообитаниях из-за относительно высоких летних температур в засушливые годы происходит засоление почв вследствие выпотевания солей из нижележащих почвенных горизонтов (Панкова и др., 2006). Относительно высокая минерализация почв обеспечивает конкурентные преимущества для галофитно-луговых видов, приспособленных к большой минерализации почв, к которым относится рассматриваемый вид. Произрастание *G. barbata* в северной части РБ, в Месягутовской лесостепи,

очевидно обусловлено сильной карбонатизацией болотных почв. В этой зоне все местонахождения вида приурочены исключительно к окраинам болот (Аркауловское, Черношарское, Озерское и др.), которые сформировались за счет сильно карбонатизированных источников на почвах, имеющих щелочную реакцию (от 10 % соляной кислоты вскипают с поверхности). Щелочная реакция почв может варьировать в течение сезона и различаться в разные годы в зависимости от погодных условий. Таким образом, переменность увлажнения, связанная с межгодовыми колебаниями температуры и количеством осадков, может ослаблять конкуренцию с другими видами и создать благоприятные условия для семенного возобновления этого одно-двухлетнего вида.

Zigadenus sibiricus (*Anticlea sibirica* (L.) Kunth; зигаденус сибирский) – многолетнее травянистое луковичное растение, которое имеет семенное и вегетативное размножение (Мулдашев, 2021в). Вид распространен на восточной границе Восточной Европы (Средний и Южный Урал, Уфимское плато), в Западной и Восточной Сибири, на Дальнем Востоке, севере Монголии, а также в Китае (Кузенева, 1935), Японии и Корее (Iwatsuki, 2008; POWO, 2020). Этот вид произрастает в негустых хвойных лесах, реже на сухих каменистых лугах, в зарослях кустарников и трещинах скал (Кузенева, 1935). В пределах основного ареала он входит в число видов гемибореального комплекса, приуроченного преимущественно к сухим светлохвойным лесам с участием видов рода *Larix* Mill. (Ермаков, 2006). В западной изолированной части ареала *Z. sibiricus* более редок и занесен в Красные книги Республики Башкортостан как вид, сокращающийся в численности (Мулдашев, 2021в), Свердловской области – как редкий вид (Князев, 2018), а также Пермского края – как вид, находящийся в критическом состоянии (Баландин, 2018) и Челябинской (2017) области – как вид, нуждающийся в особом внимании к его состоянию в природной среде и мониторинге.

Степень изученности *Z. sibiricus* на различных территориях РФ сильно различается. Особенно сильно она варьирует в Сибири и на Дальнем Востоке,

где этот вид не является редким. Для преодоления влияния высокой плотности близкорасположенных геопривязанных точек вида на западной границе его ареала (на Южном Урале) при построении модели использовались только отобранные случайным образом точки местообитаний этого вида, расположенные друг от друга на расстоянии не менее 10 км. Всего для моделирования использованы данные о 13 геопривязанных местонахождениях *Z. sibiricus* на территории РБ и 117 точек местонахождений в пределах основного ареала.

Полученная модель имела показатель AUC – 0,96, что соответствует хорошему качеству модели (Swets, 1988). В таблице 4.4 приведены вклады переменных в модель современного потенциального ареала *Z. sibiricus*. Наибольший вклад в модель имели: температурная сезонность (Bio4) (стандартное отклонение среднемесячных температур), разница между максимальной и минимальной высотами в пределах пикселя ($h_{\max-\min}$), средняя температура наиболее сухого квартала (Bio9) и количество осадков в наиболее теплый квартал (Bio18). Среднесуточная амплитуда среднемесячных температур (Bio2) имела небольшой вклад в модель, но большое значение по тесту перестановок (38,5 %).

Результаты моделирования современного потенциального ареала вида *Z. sibiricus* представлены на рисунке 4.4. Пригодность условий местообитания подразделена на четыре градации: непригодные (0–0,42), низкопригодные (0,43–0,60), среднепригодные (0,61–0,80) и высокопригодные (0,81–1,00). По результатам анализа пригодности условий местообитания на территориях известных локалитетов у *Z. sibiricus* выявлено, что все локалитеты имеют пригодные условия местообитания, при этом 38 локалитетов имеют высокопригодные, 21 – среднепригодные и всего 2 – низкопригодные условия местообитания (рис. 4.4).

Таблица 4.4 – Оценка вклада экологических переменных в модель современного потенциального ареала *Zigadenus sibiricus* на территории Южного Урала, %

Код	Переменные среды	Процент вклада (Percent contribution)	Тест перестановок (Permutation importance)
Bio4	Температурная сезонность	27,8	23,4
$h_{\max-\min}$	Разница между максимальной и минимальной высотами	24,4	16,1
Bio9	Средняя температура наиболее сухого квартала	16	7,5
Bio18	Количество осадков в наиболее теплый квартал	13,6	1,4
Bio2	Среднесуточная амплитуда	11,1	38,5
Bio15	Сезонность осадков	3,6	3,7
Bio10	Средняя температура наиболее теплого квартала	3,5	9,4

На Южном Урале, в пределах РБ, наибольшее распространение *Z. sibiricus* имеет на Уфимском плато, где произрастает преимущественно на крутых северных и южных склонах в водоохранной зоне Павловского водохранилища в зеленомошных елово-пихтовых лиственничных лесах ассоциации *Equiseto scirpoidis-Piceetum obovatae* Martynenko et Zhigunova 2004 (союз *Piceion excelsae* Pawłowski et al. 1928) и на крутых южных склонах в ксерофитных зеленомошных сосняках ассоциации *Zigadeno sibirici-Pinetum sylvestris* Martynenko et Zhigunova 2004 (союз *Brachypodio pinnati-Pinion sylvestris* Shirokikh et al. 2018 prov.). В центральной части ЮУ вид встречается преимущественно в тенистых нижних частях приречных склонов на скалах и каменистых осыпях (сообщество *Cystopteris dickieana-Schivereckia hyperborea*). Очень редко вид также встречается в зеленомошных сухих сосняках в ассоциациях *Seseli krylovii-Pinetum sylvestris* Martynenko et al. 2008 (союз *Brachypodio pinnati-Pinion sylvestris*) и *Viollo collinae-Piceetum obovatae*

(союз *Aconito septentrionalis*–*Piceion obovatae* Solomeshch, Grigoriev, Khaziakhmetov et Baisheva in Martynenko et al. 2008).

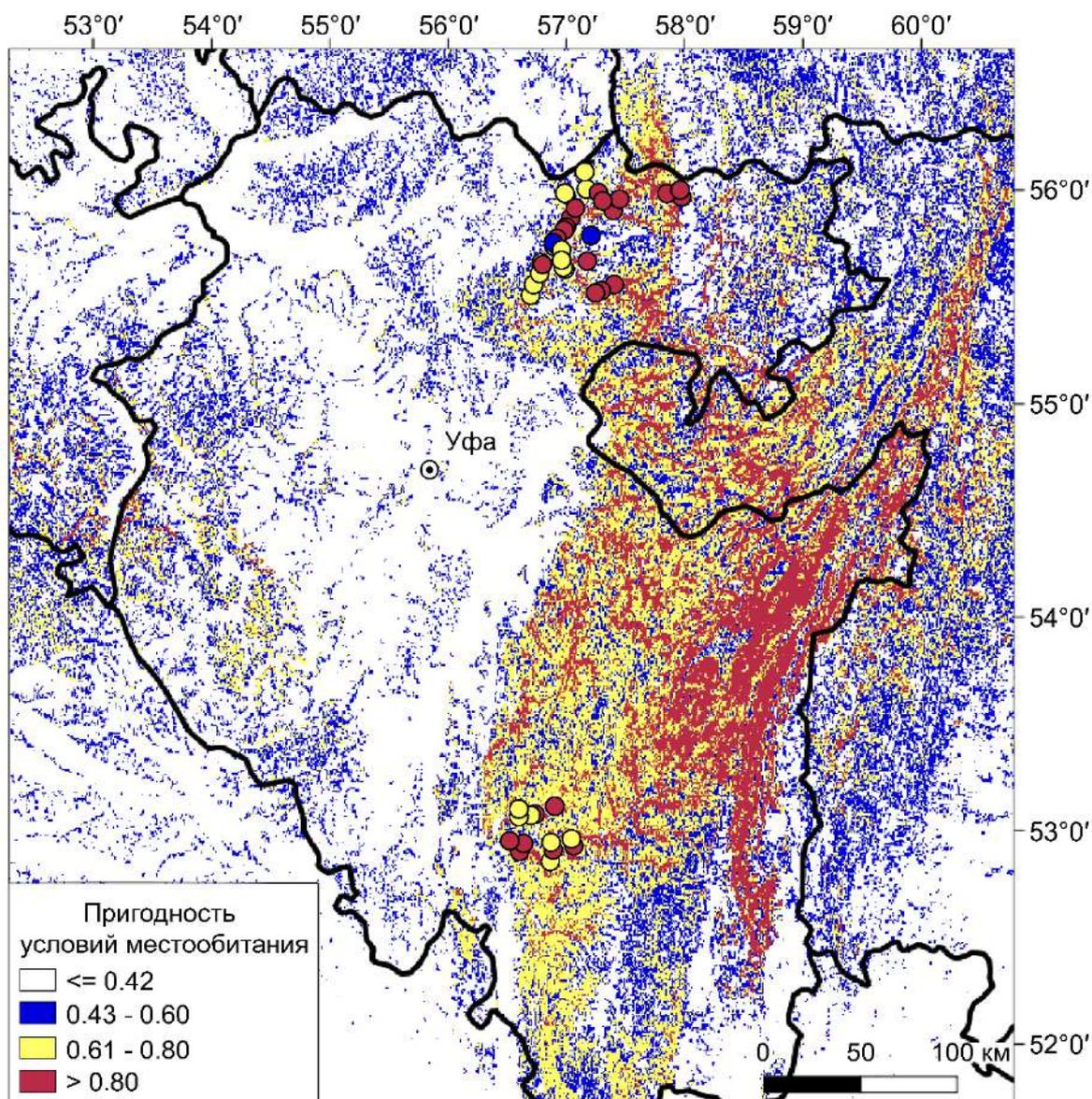


Рисунок 4.4 – Современный потенциальный ареал и известные локалитеты *Zigadenus sibiricus* на территории Южного Урала. В правом нижнем углу – градации пригодности условий местообитания.

Из рисунка 4.4 видно, что рассчитанный потенциальный ареал значительно шире – высоко- и среднепригодные условия местообитания широко распространены на территории ЮУ и в его восточных предгорьях. Они также распространены на Уфимском плато и присутствуют на

Бугульминско-Белебеевской возвышенности. В целом, распространение средне- и высокопригодных условий местообитания *Z. sibiricus* на территории ЮУ совпадает с распространением растительных сообществ класса *Brachypodio-Betuletea* и потенциальным ареалом подсоюза *Tilio-Pinenion* Martynenko et Shirokikh 2009 (Широких и др., 2021), который объединяет переходные сообщества между классами *Brachypodio-Betuletea* и *Carpino-Fagetea sylvaticae* Jakucs ex Passarge 1968. Это соответствует данным о приуроченности этого вида к умеренно сухим гемобореальным сосново-березово-лиственничным лесам в пределах его основного ареала (Ермаков, 2006). Эти леса в настоящее время встречаются на Уфимском плато, прежде имели распространение на Бугульминско-Белебеевской возвышенности и, видимо, были достаточно широко представлены на западном макросклоне ЮУ до экспансии широколиственных лесов в середине голоцена. После похолодания и ксерофитизации климата они еще достаточно широко были распространены на ЮУ, о чем свидетельствуют крупные старые пни вырубленных лиственниц. Таким образом, леса с участием *Larix sibirica* Ledeb. – основные местообитания *Z. sibiricus* – не только трансформировались в результате климатических изменений, но и исчезли в результате вырубки сосны и лиственницы, которая началась с появлением медеплавильных заводов на ЮУ и продолжилась до середины XX века (Путенихин, 1993).

Linaria uralensis (льнянка уральская) – стержнекорневое многолетнее (малолетнее) травянистое растение высотой до 15–20 см, размножающееся семенами (Князев, 2017). Вид *L. uralensis* произрастает в Башкирском Предуралье в восточной части Общего Сырта, на Южном Урале в южной части Зилаирского плато (хр. Шайгантау), в Зауралье (с низовья р. Таналык до р. Урал в Челябинской области на этой же широте) и южнее, в Оренбургской области (преимущественно в Сакмаро-Уральском междуречье). Северная граница ареала вида проходит по Общему Сырту на широте устья р. Ургинки РБ (Мулдашев, Голованов, 2021). На юго-востоке *L. uralensis* граничит с близким видом *L. altaica*, а на севере – с *Linaria debilis* Kuprian. С обоими

видами образует переходные, гибридные формы (Мулдашев, Галеева, 1998). Вид *L. uralensis* рассматривался М.И. Котовым (1946) и М.С. Князевым (2003) как самостоятельный вид, а Л.А. Куприянова считала различия между *L. uralensis* и *L. altaica* несущественными и рассматривала их в качестве одного вида – *L. altaica* (1950; 1955). Таким образом, *L. uralensis* может рассматриваться либо как реликт плейстоценового комплекса, либо как эндемичный вид Южного Урала, сформировавшийся в плейстоценовом периоде. Для окончательного решения о самостоятельности вида *L. uralensis*, вероятно, необходимо проведение дополнительных исследований с использованием современных генетических методов. *L. uralensis* занесен в Красную книгу РБ (как *L. altaica*) (Мулдашев, Голованов, 2021), а также Красную книгу Челябинской (Князев, 2017) и Оренбургской областей (Колонтаева, 2019) как редкий вид *L. uralensis*.

Вид *L. uralensis* встречается в низкогорных петрофитных степях, на осыпях или скалах на карбонатных (известняки, карбонатизированные песчаники) и кремнистых осадочных и эффузивных породах в гиперпетрофитных инееватопырейных сообществах (Голованов, Карпова, 2018). Он может поселяться на каменистых субстратах антропогенного происхождения (придорожные карьеры и выемки) (Мулдашев, Голованов, 2021). Одним из механизмов адаптации этого вида к ксерофитным условиям произрастания является достаточно раннее сезонное развитие (вид может начинать цветение в конце мая) (Мулдашев, Голованов, 2021). Распространение *L. uralensis* лимитируется слабой экологической пластичностью, низкой конкурентоспособностью (всегда встречается при большой разреженности травостоя), а также выпасом скота и разработкой щебня (Колонтаева, 2019).

При моделировании потенциального ареала *L. uralensis* использовались 47 геопривязанных точек местонахождений вида на территории ЮУ. Показатель AUC модели современного потенциального ареала *L. uralensis* составил 0,99, что соответствует высокому уровню качества модели (Swets,

1988). При построении модели наибольший вклад имели четыре переменные: температурная сезонность (стандартное отклонение среднемесячных температур) (Bio4), количество осадков в наиболее сухой месяц (Bio14) (февраль), изотермальность (отношение суточных колебаний температуры воздуха к годовой амплитуде температур) (Bio3), а также разница между максимальной и минимальной высотой над ур. м. в пределах одного пикселя ($h_{\max-\min}$). Совокупный вклад этих переменных при построении модели составлял 89,3% (табл. 4.5). Минимальная температура наиболее холодного месяца (Bio6) имела небольшой вклад в модель, но большое значение по тесту перестановок (34,9 %).

Таблица 4.5 – Оценка вклада экологических переменных в модель современного потенциального ареала *Linaria uralensis* на территории Южного Урала, %

Код	Переменные среды	Процент вклада (Percent contribution)	Тест перестановок (Permutation importance)
Bio4	Температурная сезонность	33,7	44
Bio14	Количество осадков в наиболее сухой месяц	24,4	12,3
Bio3	Изотермальность	19,4	0,4
$h_{\max-\min}$	разница между максимальной и минимальной высотой над ур. м.	11,8	1,2
Bio6	Минимальная температура наиболее холодного месяца	4,6	34,9
Bio15	Сезонность осадков	4,6	0,1
Bio9	Средняя температура наиболее сухого квартала	1,5	7,2

Результаты моделирования современного потенциального ареала вида представлены на рисунке 4.5. Пригодность условий местообитания

подразделена на четыре градации: непригодные (0–0,29), низкопригодные (0,29–0,55), среднепригодные (0,55–0,81) и высокопригодные (0,81–1,00).

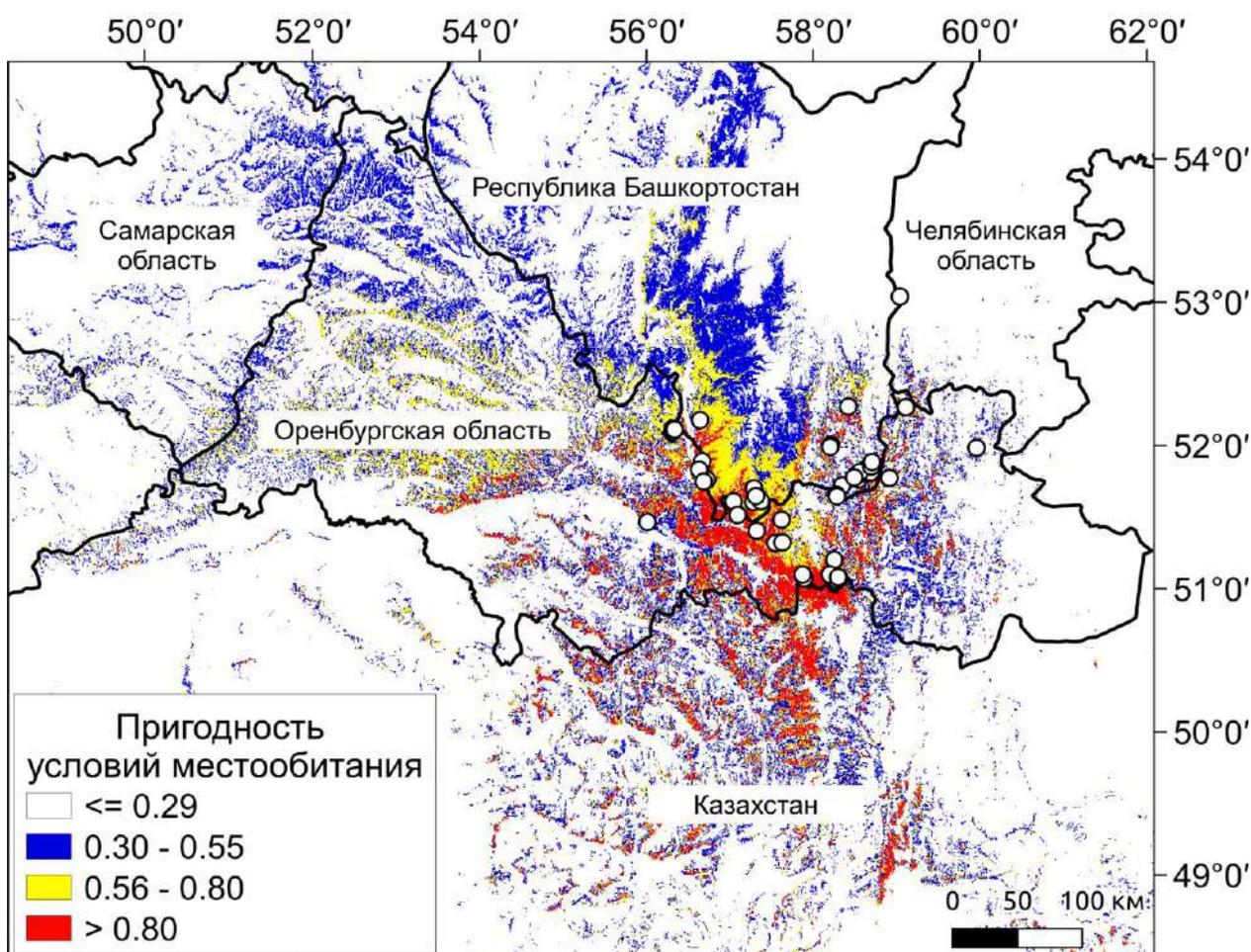


Рисунок 4.5 – Современный потенциальный ареал *Linaria uralensis* на Южном Урале. Белыми кружками отмечены известные местонахождения вида.

Основная часть рассчитанного потенциального ареала вида *L. uralensis* охватывает южные районы РБ, включая Зилаирское плато, Предуралье и Зауралье, а также северную и северо-западную часть Оренбургской области. Ареал вида заходит также в Зауралье в Челябинской области. На западе он продолжается по Бугульминско-Белебеевской возвышенности и доходит до Саратовской области, где перекрывается с ареалом близкого вида *Linaria odora* (M.Bieb.) Fisch. Наиболее высокопригодные условия местообитания вида сосредоточены на территории РБ и Оренбургской области. В группу высокопригодных условий местообитания входят участки степной

растительности, приуроченные преимущественно к покатым, сильнопокатым и крутым склонам различной экспозиции по классификации Жучковой В. К. и Раковской Е. М. (2004). Исключениями являются два локалитета, один из которых приурочен к плоской вершине холма, а второй – к выровненному каменистому берегу реки Таналык. Местоположения с низкой пригодностью местообитания приурочены к выровненным участкам и пологим склонам. Связь с крутизной рельефа обусловлена более высокой водной и ветровой эрозией на крутых склонах, которая приводит к формированию петрофитных степных участков с разреженным травостоем – основным местообитаниям этого вида. При моделировании один из известных локалитетов оказался в 35 км за пределами северной границы потенциального ареала вида в Зауралье – на антропогенно нарушенном каменистом участке линии газопровода, южнее проходящего через область распространения вида. Низкая пригодность условий местообитания в этом локалитете компенсируется низкой конкуренцией со стороны других видов травяного яруса.

Delphinium uralense (живокость уральская) – многолетнее стержнекорневое растение, размножающееся семенами. Вид является элементом флоры плейстоценового комплекса и мог сформироваться на Южном Урале в плейстоцене, либо его предковые формы проникли на эту территорию в результате миграции сибирской криофильной флоры в плейстоцене и в начале голоцена (Крашенинников, 1939; Крашенинников, Кучеровская-Рожанец, 1941; Благовещенский, 1943; Горчаковский, 1963; Гроссет, 1962; Игошина, 1963; Федоров и др., 2007). Вид включен в Красные книги Республики Башкортостан (Федоров, 2021) и Оренбургской области (Колонтаева, 2019), а также в Красную книгу Российской Федерации, где он отмечен как вид, нуждающийся в особом внимании к его состоянию в природной среде и мониторинге (Красная книга ..., 2008). Основная часть ареала исследуемого вида приурочена к Зилаирскому плато, но есть изолированные местообитания в Зауралье и горно-лесной зоне ЮУ почти в 200 км от основного ареала, а также в Предуралье. *D. uralense* встречается в

растительных сообществах союзов *Helictotricho desertori–Stipion rubentis* Toman 1969, *Festucion valesiacaе* Klika 1931, (класса *Festuco-Brometea* Br.-Bl. et Tx. 1943) и союза *Lathyro–Quercion roboris* Solomeshch et al. 1989 (класса *Quercu-Fagetea* Br.-Bl. et Vlieger 1937) (Ишбирдина и др., 2016). Изолированные местообитания свидетельствуют о широком распространении этого вида в конце плейстоцена и в начале голоцена, когда леса не образовывали сплошной покров на ЮУ и преобладали горно-лесостепные сообщества (Горчаковский, 1969). В отличие от близкого вида *D. dictyocarpum*, вид *D. uralense* приурочен к более мелкопрофильным почвам, что также свидетельствует о его плейстоценовом происхождении (Ишбирдина, Федоров, 2003; Федоров и др., 2007).

Для построения модели были использованы известные геопривязанные местонахождения этого вида на территории РБ (42 точки местонахождений) из гербарных этикеток (UFA) и литературных данных (Федоров и др., 2007).

Для построенной модели современного потенциального ареала *D. uralense* показатель AUC модели составил 0,99, что соответствует высокому уровню качества модели (Swets, 1988). При построении модели наибольший вклад имели четыре переменных среды местообитания (табл. 4.6): количество осадков в наиболее сухой месяц (Bio14), максимальная высота над ур. м. (h_{max}), температурная сезонность (Bio4) и сезонность осадков (Bio15). Совокупный вклад этих переменных при построении модели составлял 90,1%. Средняя температура наиболее сухого квартала (Bio9) имела небольшой вклад в модель, но большое значение по тесту перестановок (49,1 %)

Результаты моделирования современного потенциального ареала вида представлены на рисунке 4.6. Пригодность условий местообитания подразделена на четыре градации: непригодные (0–0,25), низкопригодные (0,26–0,50), среднепригодные (0,51–0,75) и высокопригодные (0,76–1,00).

Таблица 4.6 – Оценка вклада экологических переменных в модель современного потенциального ареала *Delphinium uralense* на территории Южного Урала, %

Код	Переменные среды	Процент вклада (Percent contribution)	Тест перестановок (Permutation importance)
Bio14	Количество осадков в наиболее сухой месяц	32,9	0,5
Bio4	Температурная сезонность	25,1	1,6
h _{max}	Максимальная высота над ур.м.	20,4	6,6
Bio15	Сезонность осадков	11,7	17,7
Bio10	Средняя температура наиболее теплого квартала	7,6	15,2
Bio9	Средняя температура наиболее сухого квартала	1,6	49,1
Bio18	Количество осадков в наиболее теплый квартал	0,6	9,3

В настоящее время непригодные условия местообитания для *D. uralense* отмечаются в четырех локалитетах, находящихся за пределами основного ареала (в двух локалитетах в Предуралье и в двух – в Зауралье). Высоко- и среднепригодные условия местообитания сосредоточены преимущественно в лесостепных и лесных районах РБ и Оренбургской области. За пределами основного ареала местонахождения этого вида приурочены преимущественно к низкопригодным условиям местообитания, но в этих местообитаниях вид представлен единичными экземплярами. Рассматриваемый вид способен к гибридизации с близкородственным видом *D. dictyocarpum* (Федоров, 2003), которая в настоящее время отмечается только на Зилаирском плато. В начале голоцена, в период большего распространения вида *D. uralense*, гибридизация с *D. dictyocarpum* могла происходить в больших масштабах и возможно, что единичные экземпляры в Предуралье представляют собой гибриды между этими видами.

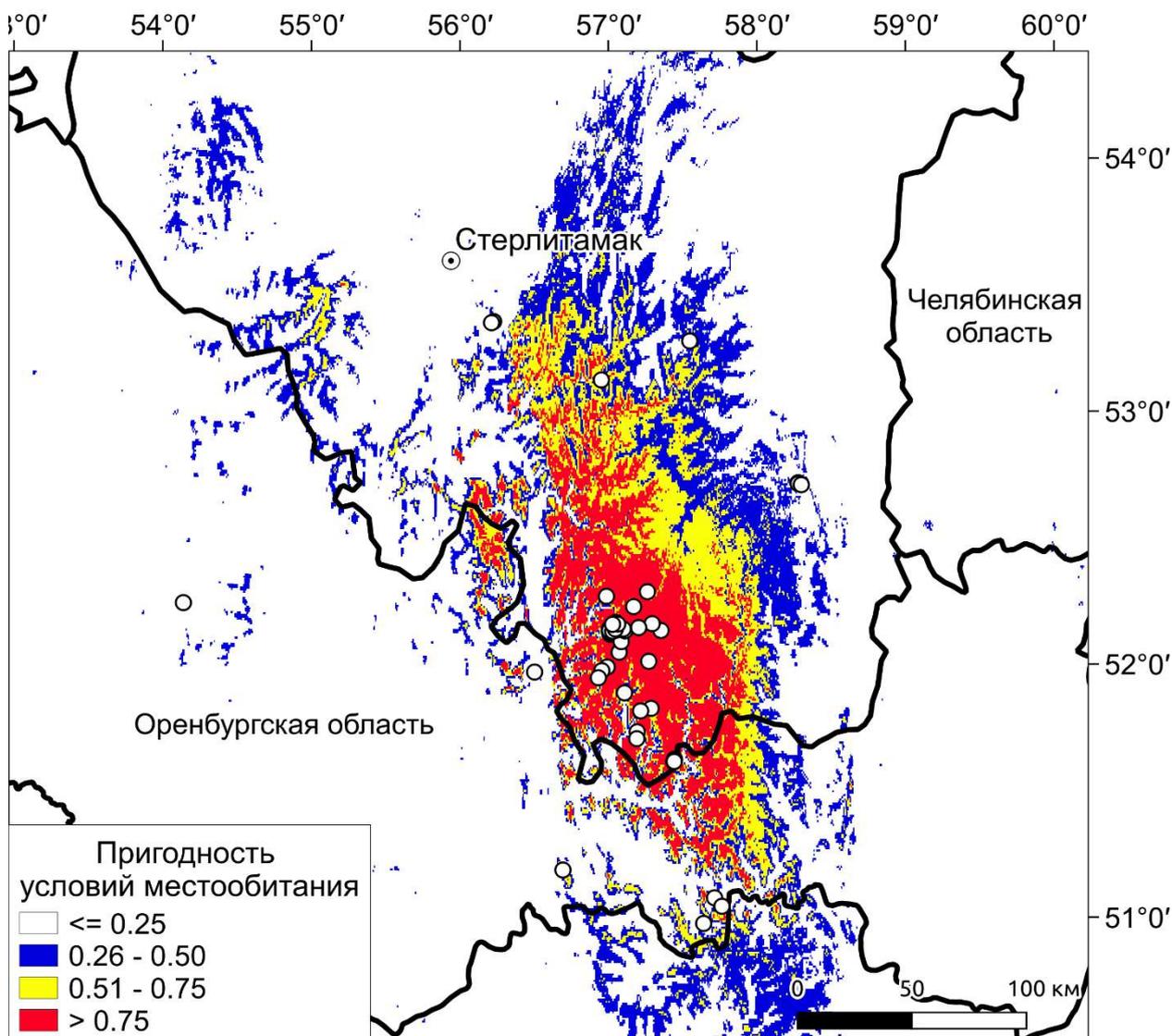


Рисунок 4.6 – Современный потенциальный ареал *Delphinium uralense* на Южном Урале. Белыми кружками отмечены известные местонахождения вида.

Allium obliquum (лук косой) — многолетнее луковичное растение высотой до 120 см, размножающееся семенами (Черемушкина и др., 1992). Вид встречается на юго-востоке европейской части России, на ЮУ, в Западной и Средней Сибири, Казахстане, Средней Азии (Киргизия), Китае и Монголии (Фризен, 1987). В настоящее время его ареал сильно фрагментирован, и большинство его известных местообитаний приурочено к ЮУ (Серегин, 2005), а также горным системам юга Сибири, Средней и Центральной Азии (Фризен, 1987). *A. obliquum* включен в список видов растений Европы, находящихся под угрозой (European red list of vascular plants) (Bilz et al., 2011). Вид также занесен

в Красные книги РБ (Мулдашев, Маслова, 2021), Челябинской области (Князев, Меркер, 2017), Оренбургской области (Раченкова, 2019) и Красноярского края (Андреева, 2012) как редкий вид, а также в Красные книги Самарской области – как вид, находящийся под угрозой исчезновения (Ильина и др., 2017) и Томской области – как вероятно исчезнувший вид (Амельченко, 2013). В пределах основного ареала вид имеет достаточно разнообразные условия произрастания: на горных лесных лугах, по закустаренным степным склонам гор, берегам горных рек (Фризен, 1987; Плаксина, 2001; Эбель, 2012). Плотность популяций вида на территории ЮУ составляет 2,0-26,8 экз./м² (Мулдашев, Маслова, 2021), плотность генеративных особей 0,6–12,0 экз./м² (Хайретдинов, 1984). Встречается в растительных сообществах союза *Polygonion krascheninnikovii* Kashapov 1985 (порядок *Carici macrourae-Crepidetalia sibiricae* Ermakov et al. 1999) (Филинов и др., 2002).

Для построения модели использовались данные о 63 геопривязанных местонахождениях этого вида, из которых 43 находятся на территории ЮУ и 20 – на территории Западной и Средней Сибири. Результирующая модель распространения вида *A. obliquum* имеет показатель AUC – 0,98, что соответствует высокому уровню качества модели. Наибольшее влияние на пригодность условий местообитания имеют следующие переменные: температурная сезонность (Bio4), количество осадков самого сухого месяца (Bio14), разница между максимальной и минимальной высотой над ур. м. ($h_{\max-\min}$) и изотермальность (Bio3) (табл. 4.7).

Пригодность условий местообитания вида были разделены на 4 градации: непригодные (0-0,14), низкопригодные (0,15-0,45), среднепригодные (0,46-0,75) и высокопригодные (0,76-1,00). У вида *A. obliquum* в настоящее время непригодные условия местообитания имеет один локалитет, который приурочен к небольшому участку остепненного луга среди больших территорий, занятых пашнями на месте сведенных липово-дубовых лесов (рис. 4.7).

Таблица 4.7 – Оценка вклада экологических переменных в модель современного потенциального ареала *Allium obliquum* на территории Южного Урала, %

Код	Переменные среды	Процент вклада (Percent contribution)	Тест перестановок (Permutation importance)
Bio4	Температурная сезонность	32,2	44,3
Bio14	Количество осадков в наиболее сухой месяц	27,7	2,8
$h_{\max-\min}$	Разница между максимальной и минимальной высотой над ур. м.	19,4	2,7
Bio3	Изотермальность	19	17,3
Bio7	Годовая амплитуда температур	1,1	28,3
Bio9	Средняя температура наиболее сухого квартала	0,4	4,6
Bio8	Средняя температура наиболее влажного квартала	0,1	0

Согласно модели (рисунок 4.7), основное распространение высокопригодных условий местообитания для этого вида сосредоточено по всей горно-лесной зоне РБ, в том числе в центральной и южной части ЮУ. В Зауралье местообитания с высокой пригодностью отмечены по отрогам ЮУ, в том числе на хребте Ирэндик. Севернее РБ более распространены среднепригодные условия местообитания на территориях Челябинской и Свердловской областях, что соответствует литературным данным (Куликов, 2005; GBIF.org, 2021). Кроме того, высоко- и среднепригодные условия местообитания выявлены южнее и западнее РБ в Оренбургской, в Саратовской и Самарской областях, а также в Республике Татарстан, где этот вид в настоящее время не произрастает. В Самарской области вид внесен в Красную книгу (Ильина и др., 2017). В Саратовской области этот вид не обнаружен, но отмечен на прилегающей территории в Казахстане. Современное

распространение вида сформировалось не только под влиянием изменения климата, но и под влиянием антропогенных факторов, включающих выпас скота, сенокосение и сбор населением как пищевого растения.

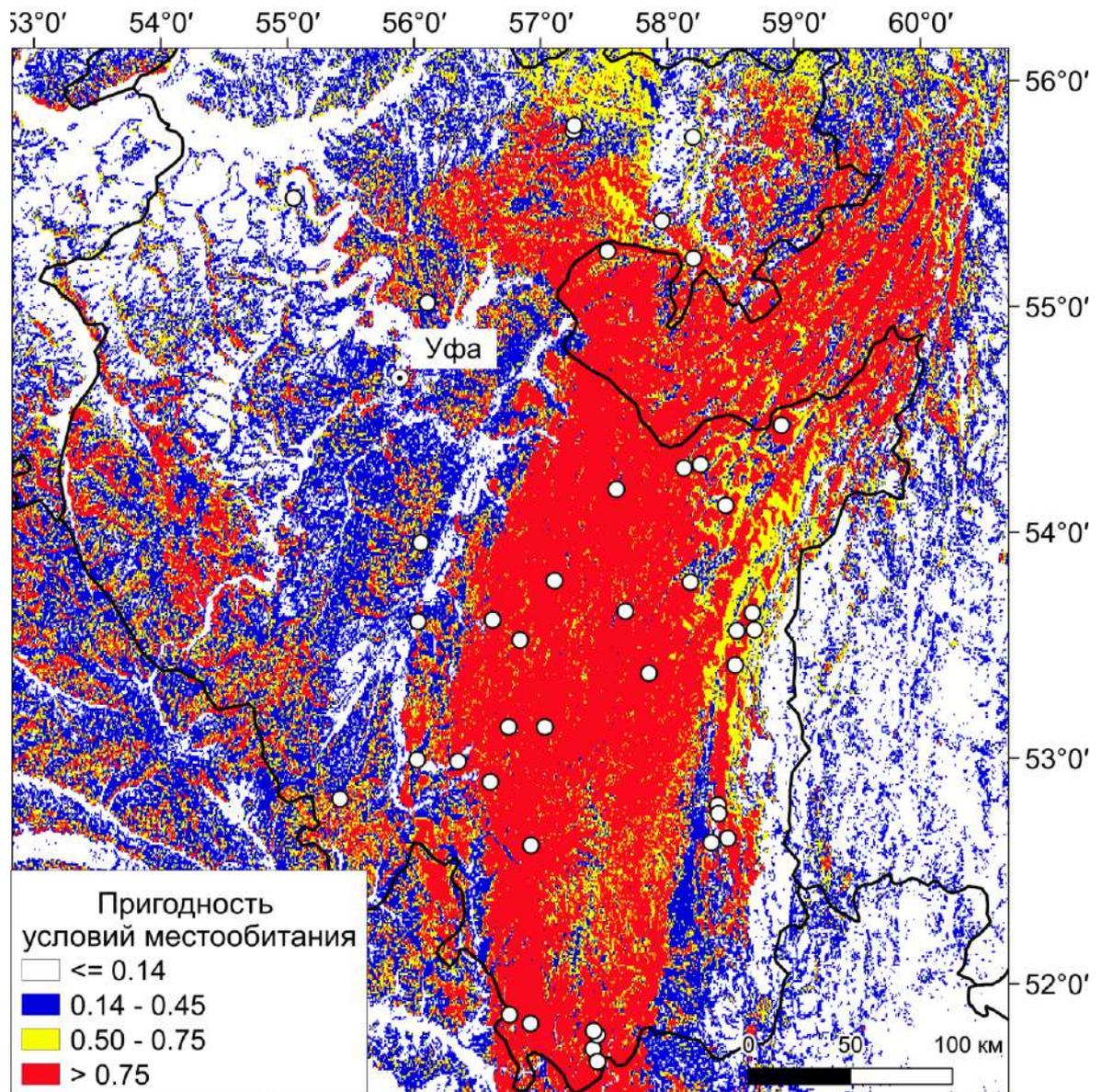


Рисунок 4.7 – Современный потенциальный ареал *Allium obliquum* на Южном Урале. Белыми кружками отмечены известные местонахождения вида.

В связи с изменением распространения границ растительных сообществ при изменении климата в голоцене, а также под влиянием антропогенных факторов потенциальные ареалы этих видов шире областей их реального распространения. Одной из причин этого несоответствия является расширение

распространения широколиственных лесов при потеплении климата и увеличении влажности в середине голоцена (Горчаковский, 1968; Смирнов и др., 1990). Этим можно объяснить несоответствие современного распространения и потенциального ареала вида *P. sibirica*, который не встречается на восточном макросклоне ЮУ, где его местообитания могли быть заняты лесными сообществами в середине голоцена в период потепления климата (Горчаковский, 1969). Большое влияние на современное распространение рассматриваемых видов оказали антропогенные факторы: вырубка хвойных лесов в Предуралье и на западном макросклоне ЮУ (на *Z. sibiricus*), осушение болот (на *S. ferrugineus* и *G. barbata*), интенсивный выпас скота (на *L. uralensis*) и заготовка в качестве пищевого вида (на *A. obliquum*).

Глава 5. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИГОДНОСТИ УСЛОВИЙ МЕСТООБИТАНИЯ МОДЕЛЬНЫХ РЕЛИКТОВЫХ ВИДОВ ПЛЕЙСТОЦЕНОВОГО КОМПЛЕКСА НА ЮЖНОМ УРАЛЕ ПРИ РАЗНЫХ СЦЕНАРИЯХ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

При проведении моделирования влияния умеренных (RCP4.5) и сильных (RCP8.5) климатических изменений на пригодность условий местообитания редких реликтовых видов плейстоценового комплекса на ЮУ выявлены два основных типа изменения пригодности – снижение (1) и возрастание с последующим снижением при длительном влиянии климатических изменений (2). В связи с отрицательным влиянием климатических изменений на местообитания, сокращение потенциальных ареалов и уменьшение пригодности условий местообитания в известных локалитетах при сценариях как среднего, так и сильного изменения климата прогнозируется у четырех модельных видов – *Patrinia sibirica* (высокогорная группа), *Schoenus ferrugineus* и *Gentianopsis barbata* (группа болотных и лугово-болотных видов), *Zigadenus sibiricus* (группа лесных видов).

5.1 Виды, у которых при изменении климата прогнозируется снижение пригодности условий местообитания

***Patrinia sibirica*.** На рисунках 5.1 и 5.2 показано изменение пригодности условий местообитания *P. sibirica* в локалитетах этого вида на Южном Урале в середине (2050 г.) и второй половине (2070 г.) XXI века при умеренном изменении климата. При сценарии умеренного изменения климата в горно-лесных локалитетах условия произрастания ухудшатся ниже порогового значения только в одном локалитете (8,7 % от общего числа горно-лесных локалитетов). В остальных горно-лесных локалитетах пригодные условия местообитания сохранятся даже к 2070 г. (рис. 5.1). В горно-лесостепных

локалитетах при умеренном изменении климата пригодность условий местообитания снизится ниже порогового значения к 2050 г. в 35 % локалитетов и к 2070 г. – в 40 % локалитетов.

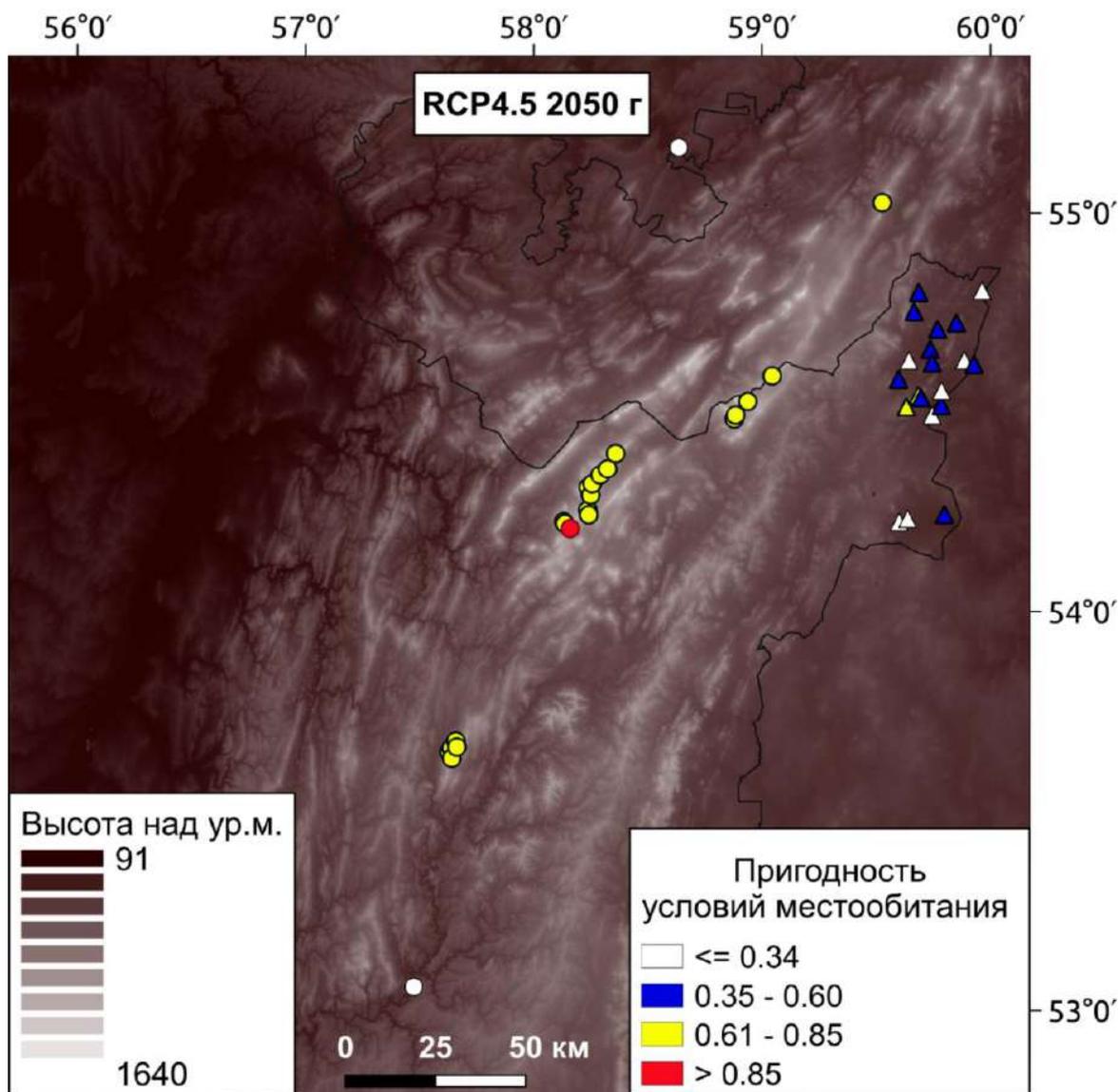


Рисунок 5.1 – Прогноз пригодности условий местообитания в локалитетах *Patrinia sibirica* на Южном Урале при умеренном (RCP4.5) изменении климата в середине (2050 г.) XXI века. Кружками обозначены горно-лесные, треугольниками – горно-лесостепные локалитеты.

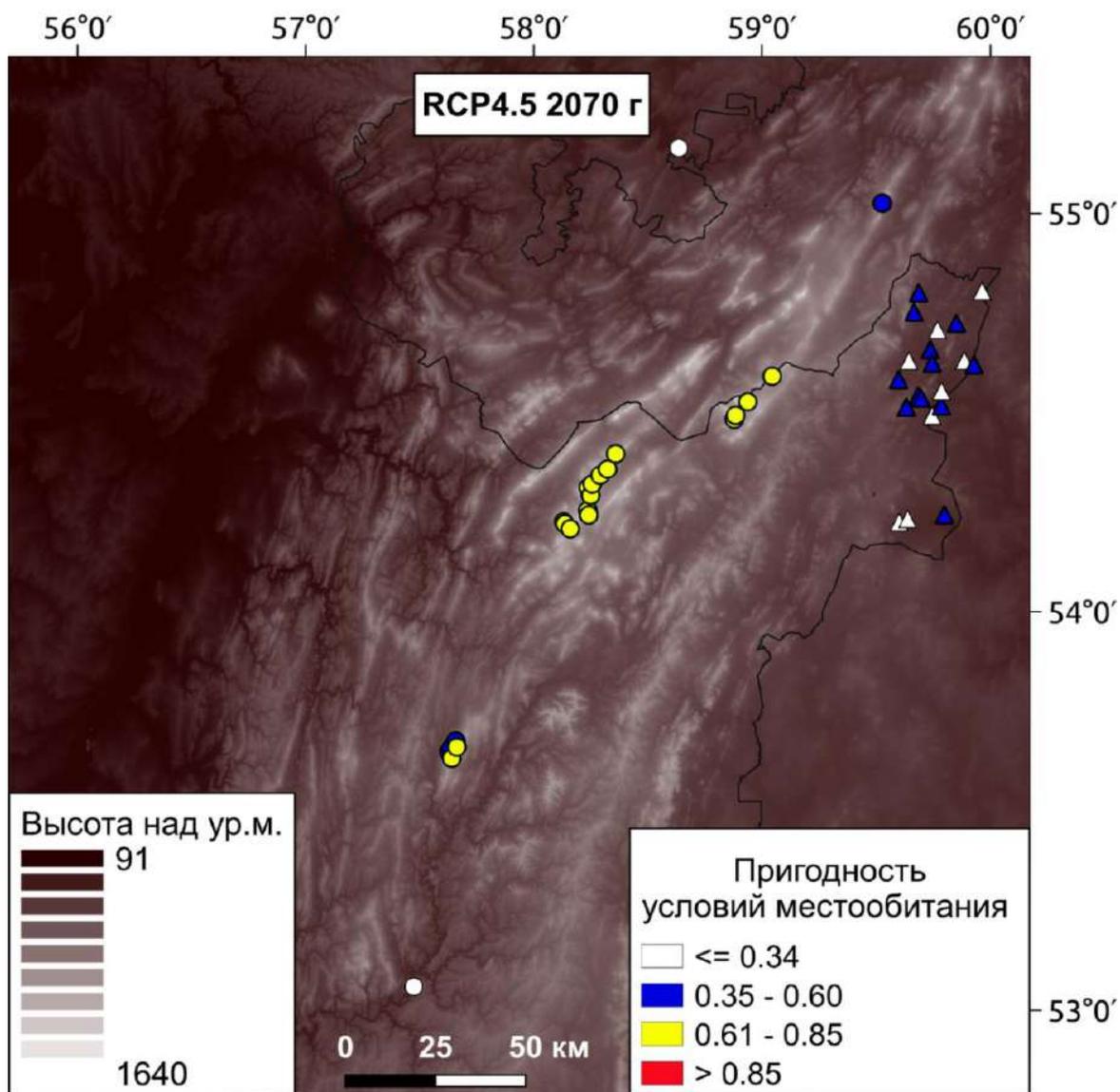


Рисунок 5.2 – Прогноз пригодности условий местообитания в локалитетах *Patrinia sibirica* на Южном Урале при умеренном (RCP4.5) изменении климата во второй половине (2070 г.) XXI века. Кружками обозначены горно-лесные, треугольниками – горно-лесостепные локалитеты.

В горно-лесных районах при сильном, как и при умеренном сценарии изменения климата прогнозируется ухудшение до критического уровня в одном локалитете к 2050 г. (рис. 5.3). В то же время, согласно прогнозам, при сильном изменении климата к 2070 г. пригодность местообитаний снизится до низкопригодной почти в половине локалитетов (рис. 5.4). Критическое ухудшение пригодности местообитаний произойдет в 60 % горно-лесостепных локалитетов к 2050 г., а к 2070 г. все местообитания станут непригодными (рис.

5.4).

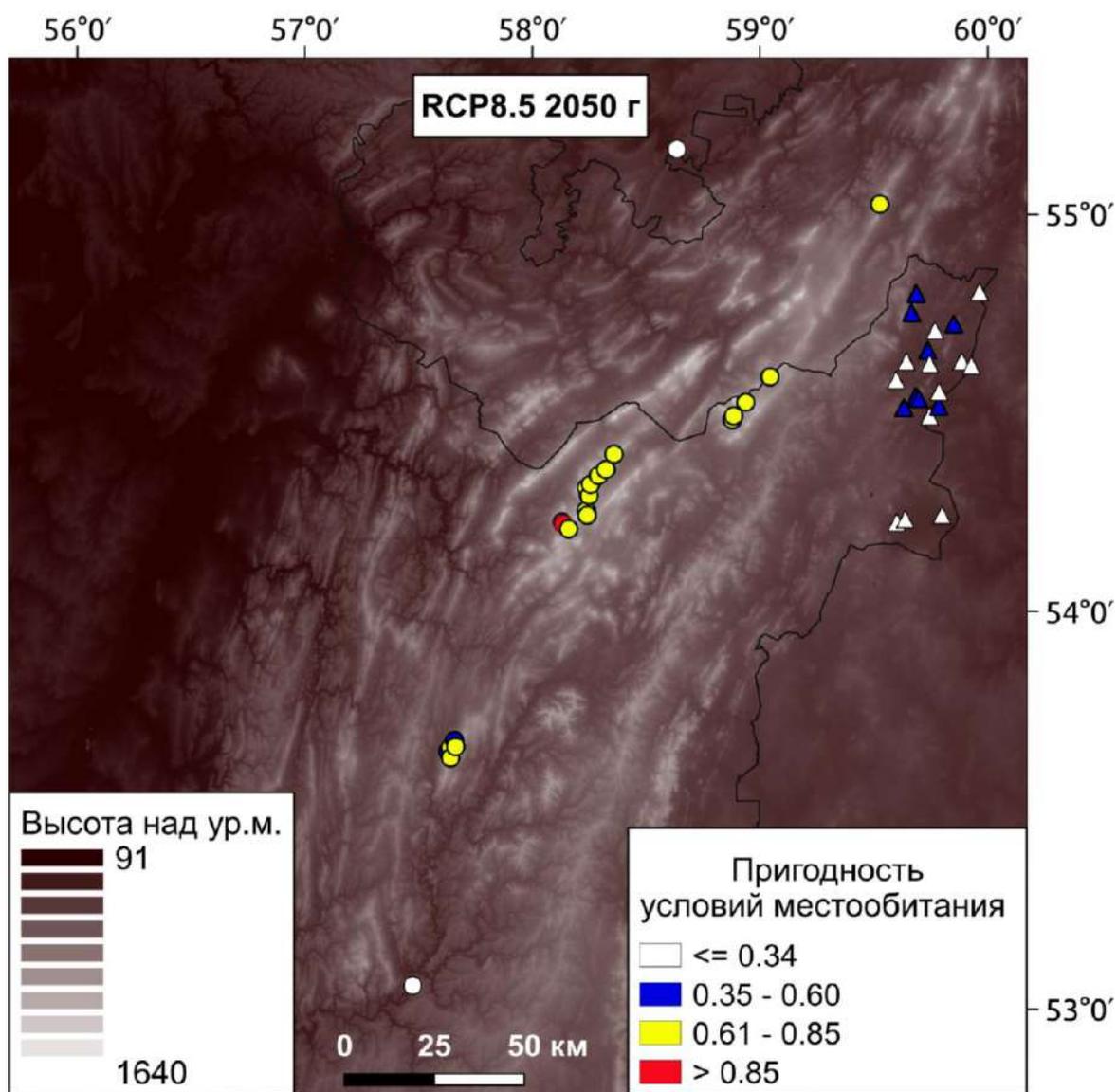


Рисунок 5.3 – Прогноз пригодности условий местообитания в локалитетах *Patrinia sibirica* на Южном Урале при сильном (RCP8.5) изменении климата в середине (2050 г.) XXI века. Кружками обозначены горно-лесные, треугольниками – горно-лесостепные локалитеты.

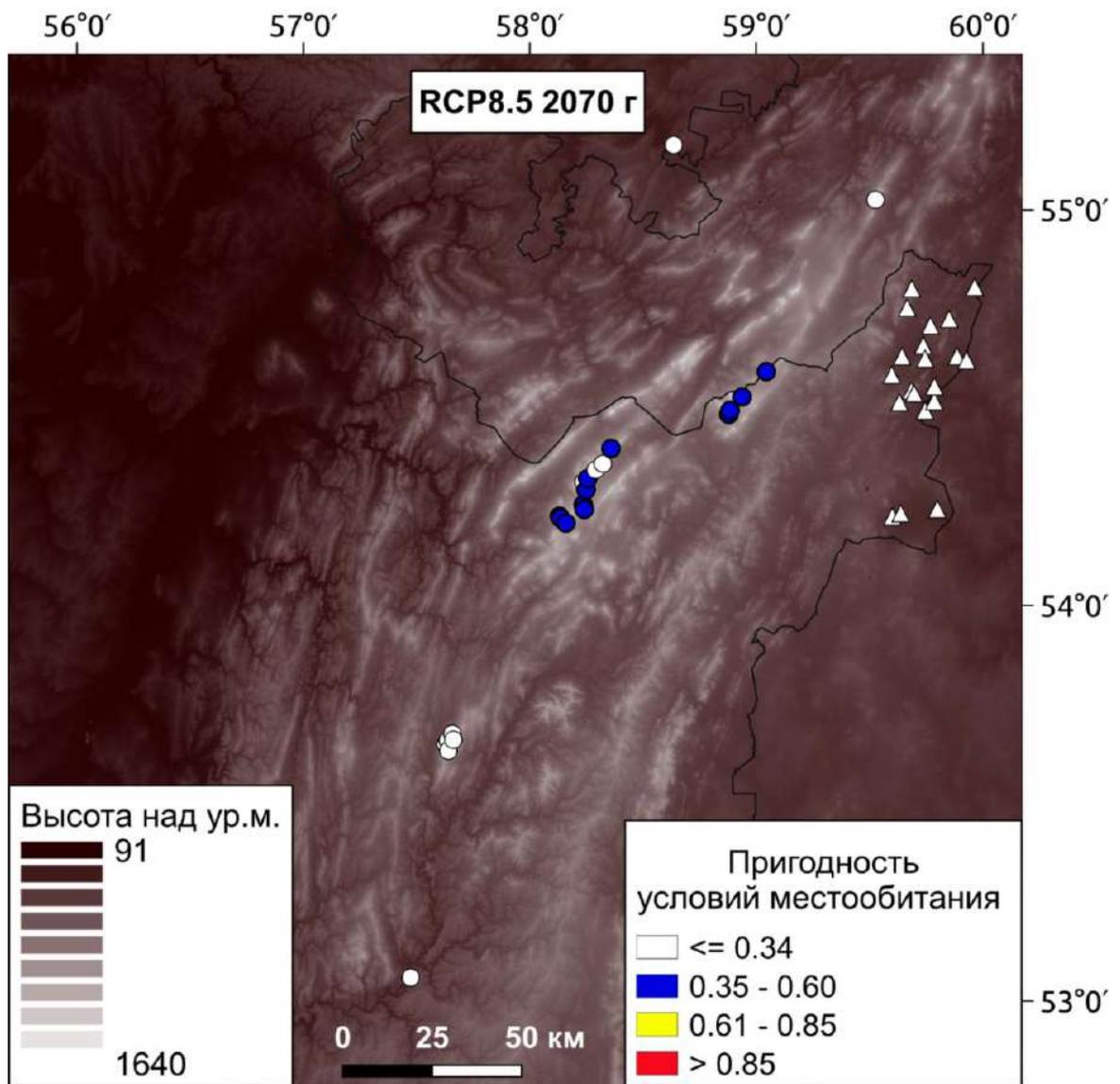


Рисунок 5.4 – Прогноз пригодности условий местообитания в локалитетах *Patrinia sibirica* на Южном Урале при сильном (RCP8.5) изменении климата во второй половине (2070 г.) XXI века. Кружками обозначены горно-лесные, треугольниками – горно-лесостепные локалитеты.

Более устойчивые к климатическим изменениям горно-лесные локалитеты отличаются от горно-лесостепных локалитетов в среднем большей площадью и положением на градиенте высоты над ур. м. Корреляция изменения пригодности условий местообитания (Ch_s) с площадью локалитетов относительно невелика и варьирует от 0,43 (RCP4.5, 2050 г.) до 0,54 (RCP8.5, 2070 г.). Корреляция изменения пригодности условий местообитания с высотой над ур. м. составляет от 0,96 до 0,98. Это позволяет использовать

линейные регрессионные модели для анализа зависимости Ch_s в локалитетах *P. sibirica* от их высоты над ур. м. при изменении климата.

Результаты линейного регрессионного анализа зависимости изменения пригодности условий местообитания в южно-уральских локалитетах *P. sibirica* от их высоты над ур. м. при различных сценариях изменении климата приведены на рисунке 5.5. Наклон линий в линейном регрессионном уравнении $y=a+bx$ отражается коэффициентом b . Таким образом, наклон линий на графике (рис. 5.5) отражает скорость изменения пригодности условий местообитания вдоль градиента высоты над ур. м. По сценарию умеренного изменения климата значения коэффициента b и наклон линий изменения пригодности условий местообитания в 2050 г. и 2070 г. различается слабо. По сценарию сильного изменения климата к 2050 г. коэффициент b существенно больше, чем при реализации сценария умеренного изменения климата. Таким образом, можно говорить о том, что высота над ур. м. играет большую роль в сохранении местообитаний. Наклон линии, рассчитанной для сильного изменения климата во второй половине XXI века, ниже, что отчасти может быть связано с увеличением роли размера локалитетов, т.к. именно в этот период отмечается наибольшая корреляция между их площадью и изменением пригодности условий местообитания.

Растительность местообитаний большинства горно-лесостепных локалитетов *P. sibirica* – петрофитные степи, примыкающие или находящиеся вблизи от участков лесной или кустарниковой растительности. Эти ксерофитные местообитания сохраняются благодаря недостаточному для произрастания древесной растительности гидрологическому режиму почв. Из таблицы 5.1 видно, что при изменении климата в этих локалитетах увеличится не только температура, но и количество осадков, причем наиболее существенно – в самый засушливый квартал (январь-март). Согласно прогнозу, во второй половине XXI в. в области распространения горно-лесостепных локалитетов среднее количество осадков в самый засушливый квартал и

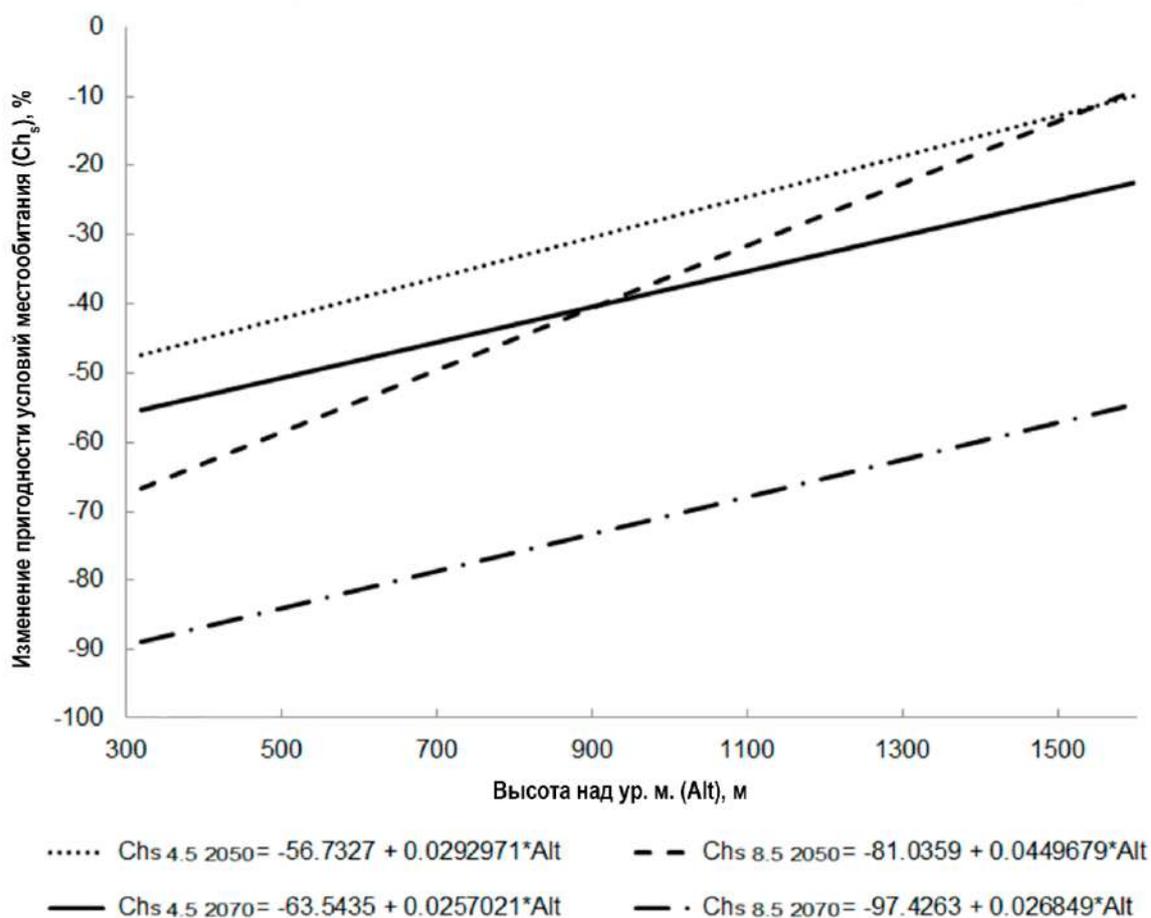


Рисунок 5.5 – Результаты линейного регрессионного анализа зависимости изменения пригодности условий местообитания (Ch_s) в южно-уральских локалитетах *Patrinia sibirica* от их высоты над ур. м. (Alt) при различных сценариях изменения климата. $Ch_s 4.5$ и $Ch_s 8.5$ – изменение пригодности условий местообитания при умеренном (RCP4.5) и сильном (RCP8.5) сценариях изменения климата; 2050 и 2070 – годы, на которые составлен прогноз.

среднегодовое количество осадков будут близкими по значению к количеству осадков в аналогичные периоды в настоящее время на близкорасположенных участках лесов, в составе которых доминируют *Pinus sylvestris* L. и *Betula verrucosa* Ehrh. (*Betula pendula* Roth.). Среднегодовое количество осадков будет также достаточно близким по значению.

Таблица 5.1 – Средняя температура и осадки в южно-уральских горно-лесостепных локалитетах *Patrinia sibirica* в настоящее время и при различных сценариях изменения климата, а также близкорасположенных к ним лесов

Сценарий, год	Среднегодовая температура, °С	Количество осадков, мм	
		Среднегодовое	В самый засушливый квартал
<i>Локалитеты Patrinia sibirica</i>			
Настоящее время	1,8	478,9	56,7
RCP 4.5, 2050	4,3	519,3	63
RCP 4.5, 2070	4,8	527	65,9
RCP 8.5, 2050	4,9	487,5	61,1
RCP 8.5, 2070	6,5	532,6	68,4
<i>Близкорасположенные леса</i>			
Настоящее время	1,7	544,8	63,7

Прогнозируемое ухудшение условий местообитания ниже критического уровня в ряде локалитетов *P. sibirica* при потеплении климата (рис. 5.4) может быть связано с изменением конкуренции с другими видами растений, в том числе за счет сдвига границ растительных сообществ, окружающих местообитания этого вида. Как уже отмечалось выше, при изменении климата на сохранение пригодных условий местообитания в локалитетах вида влияет высота над ур. м. Однако при этом вдоль градиента высоты над ур. м. в горно-лесных и горно-лесостепных ландшафтах меняется роль лимитирующих факторов. В горно-лесной зоне лимитирующими факторами являются зимняя и весенняя температура воздуха. В настоящее время в связи с потеплением климата уже наблюдаются процессы экспансии и подъема вертикальных

границ распространения лесной растительности (Шиятов, 1983; Моисеев и др., 2016; Григорьев и др., 2018). В дальнейшем это может привести к постепенному уменьшению размеров или даже исчезновению некоторых из локалитетов *P. sibirica* в подгольцовом поясе на ЮУ. В нижней части высотного градиента распространения *P. sibirica* в горно-лесостепных местообитаниях лимитирующим фактором выступает не температура, а засушливость климата в сочетании с выпасом скота. Увеличение количества осадков при изменении климата в горно-лесостепных ландшафтах приведет к внедрению в местообитания *P. sibirica* древесной (*P. sylvestris*, *B. verrucosa*, *Larix sibirica*) и кустарниковой растительности (*Caragana frutex* (L.) K. Koch, *Cerasus fruticosa* Pall., *Spiraea crenata* L.) и снижению пригодности условий местообитания для *P. sibirica*. При этом снижение пригодности условий местообитания ниже порогового значения не обязательно приведет к быстрому исчезновению вида, т.к. скорость распространения древесных пород может быть ниже, чем скорость изменение климата (Brecka et al., 2018). Кроме того, зарастание горно-лесостепных местообитаний *P. sibirica* древесно-кустарниковой растительностью может замедляться при достаточно интенсивном выпасе скота.

Полученные результаты позволяют прогнозировать сохранность условий произрастания *P. sibirica* в южно-уральских местообитаниях и охарактеризовать причины их различной устойчивости. В связи с неопределенностью реализации климатических сценариев (Petchey et al., 2015), полученные результаты следует рассматривать как наиболее вероятные варианты событий, требующие валидации с использованием иных подходов (Jarnevich et al., 2015). Сохранность подгольцовых местообитаний *P. sibirica* можно также прогнозировать с использованием ретроспективных наборов данных дистанционного зондирования по скорости изменения верхней границы леса при изменении климата. Прогнозировать сохранность местообитаний в горно-лесостепных ландшафтах значительно сложнее в силу того, что ведущий фактор формирования степной растительности – количество

осадков – в большей степени подвержен временной (межгодовой) и случайной (циклонические явления с выпадением аномального количества осадков) вариабельности.

Schoenus ferrugineus. При изменении климата ожидается снижение летних осадков на большей территории Южного Урала, что неизбежно приведет к снижению уровня болотных вод (Baisheva et al., 2020; Vlaus et al., 2020; Pakalne et al., 2021 и др.). На рисунке 5.6 показано, что при умеренном изменении климата к первой половине XXI в. условия местообитания в локалитетах, находящихся в Месягутовской лесостепи и в южной части

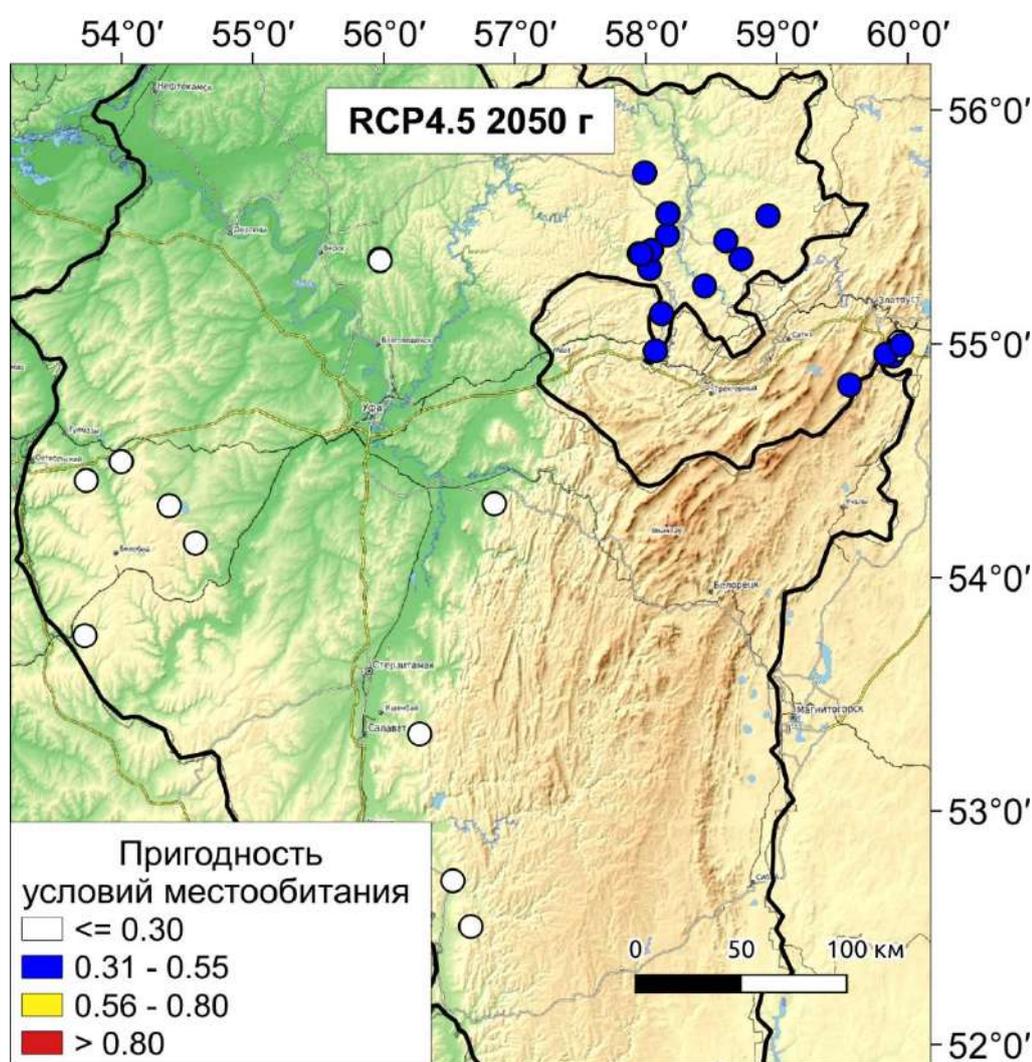


Рисунок 5.6 – Прогноз пригодности условий местообитания в локалитетах *Schoenus ferrugineus* на Южном Урале при умеренном (RCP4.5) изменении климата в середине (2050 г.) XXI века.

Челябинской области, станут низкопригодными, а в остальных локалитетах, находящихся в Бугульмино-Белебеевской возвышенности и в Предуралье – непригодными. Ко второй половине XXI в. низкопригодные условия местообитания на территории РБ также сохранятся только в Месягутовской лесостепи и в Челябинской области (рис. 5.7).

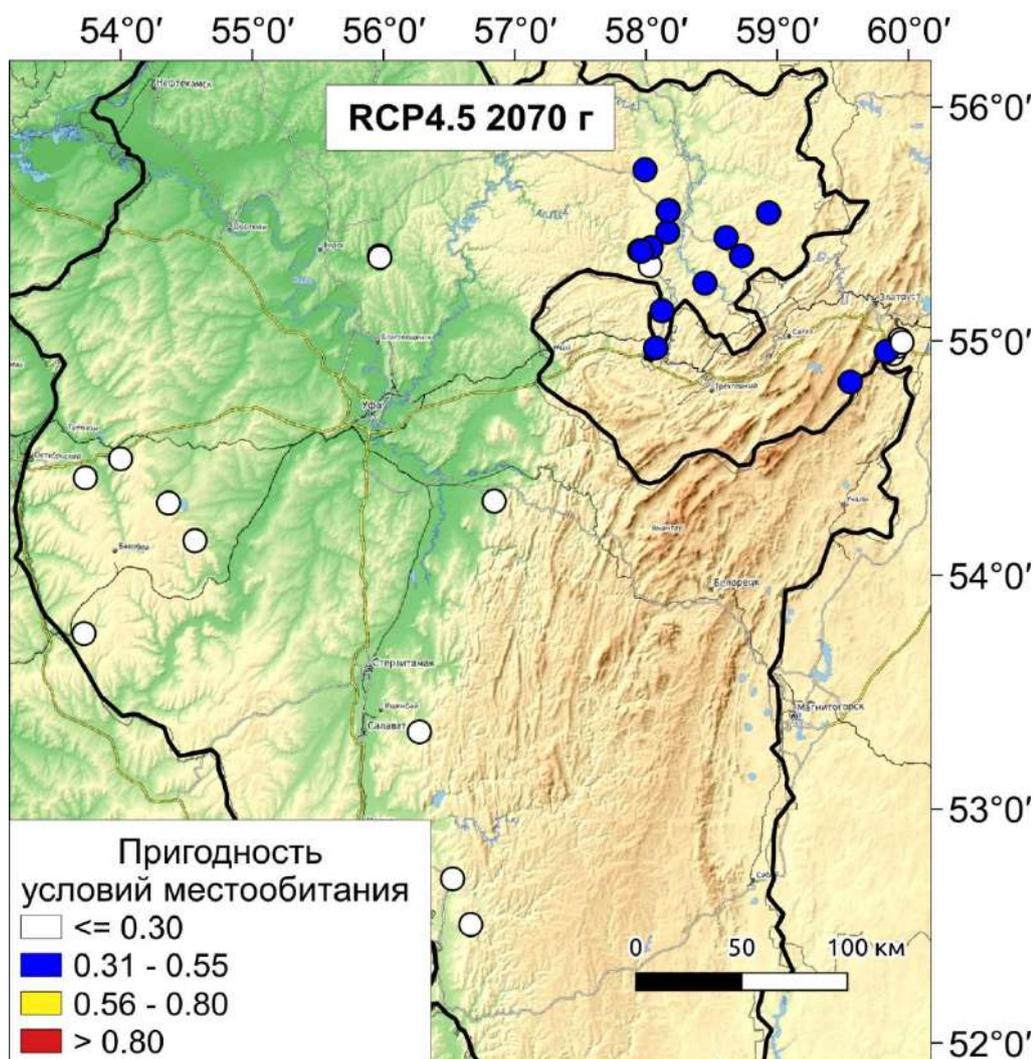


Рисунок 5.7 – Прогноз пригодности условий местообитания в локалитетах *Schoenus ferrugineus* на Южном Урале при умеренном (RCP4.5) изменении климата во второй половине (2070 г.) XXI века.

В случае если не удастся сократить выбросы парниковых газов и будет происходить сильное изменение климата по сценарию RCP8.5, то уже к 2050 г. исчезнут высоко- и среднепригодные условия местообитания, а

низкопригодные условия местообитания, также как при умеренном изменении климата, сохранятся только в Месягутовской лесостепи и в южной части Челябинской области (рис. 5.8). К 2070 г. при сильном изменении климата пригодные условия местообитания во всех известных локалитетах на ЮУ исчезнут (рис. 5.9).

Таким образом, *S. ferrugineus* является неустойчивыми к изменению климата, и для его сохранения необходимо поддержание гидрологического режима наиболее ценных по разнообразию редких видов болот в Месягутовской лесостепи и среднегорной части ЮУ (Jiménez-Alfaro et al., 2016).

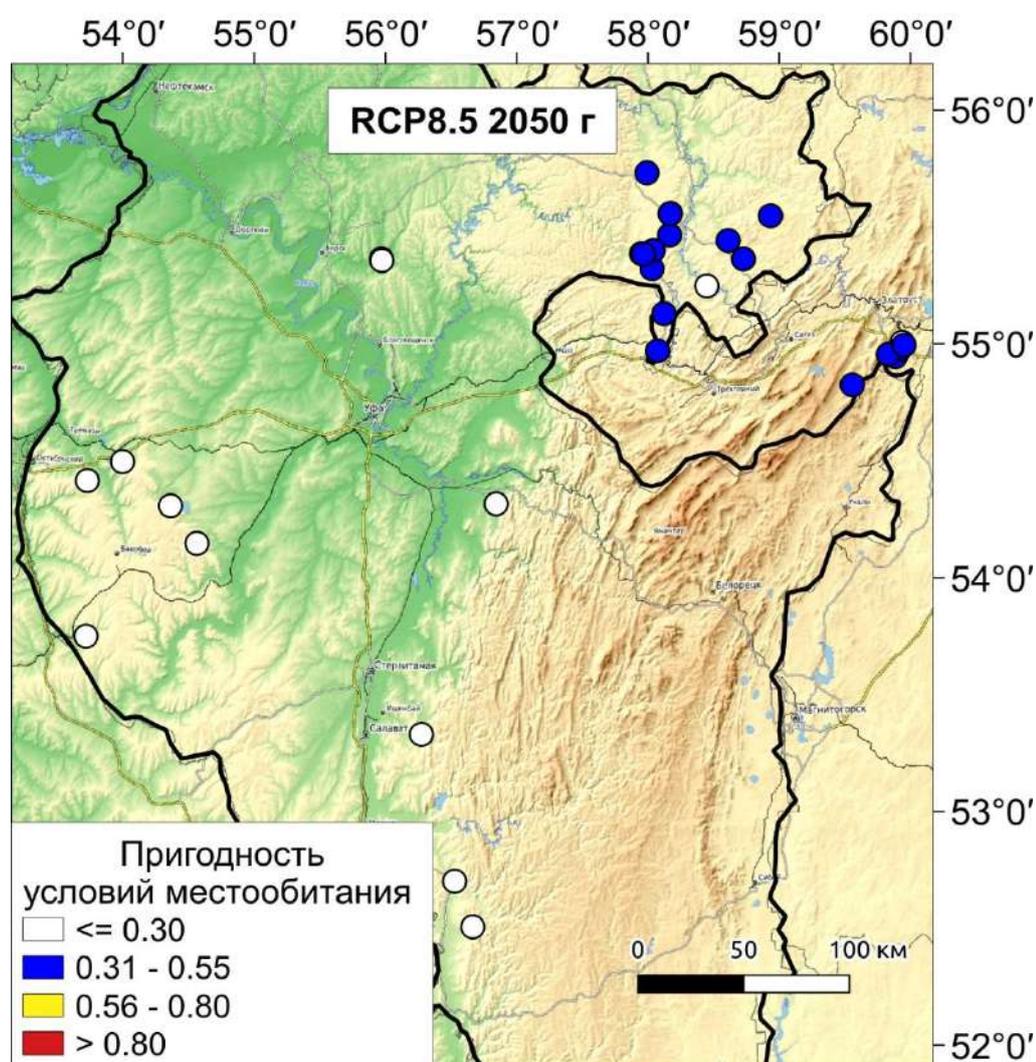


Рисунок 5.8 – Прогноз пригодности условий местообитания в локалитетах *Schoenus ferrugineus* на Южном Урале при сильном (RCP8.5) изменении климата в середине (2050 г.) XXI века.

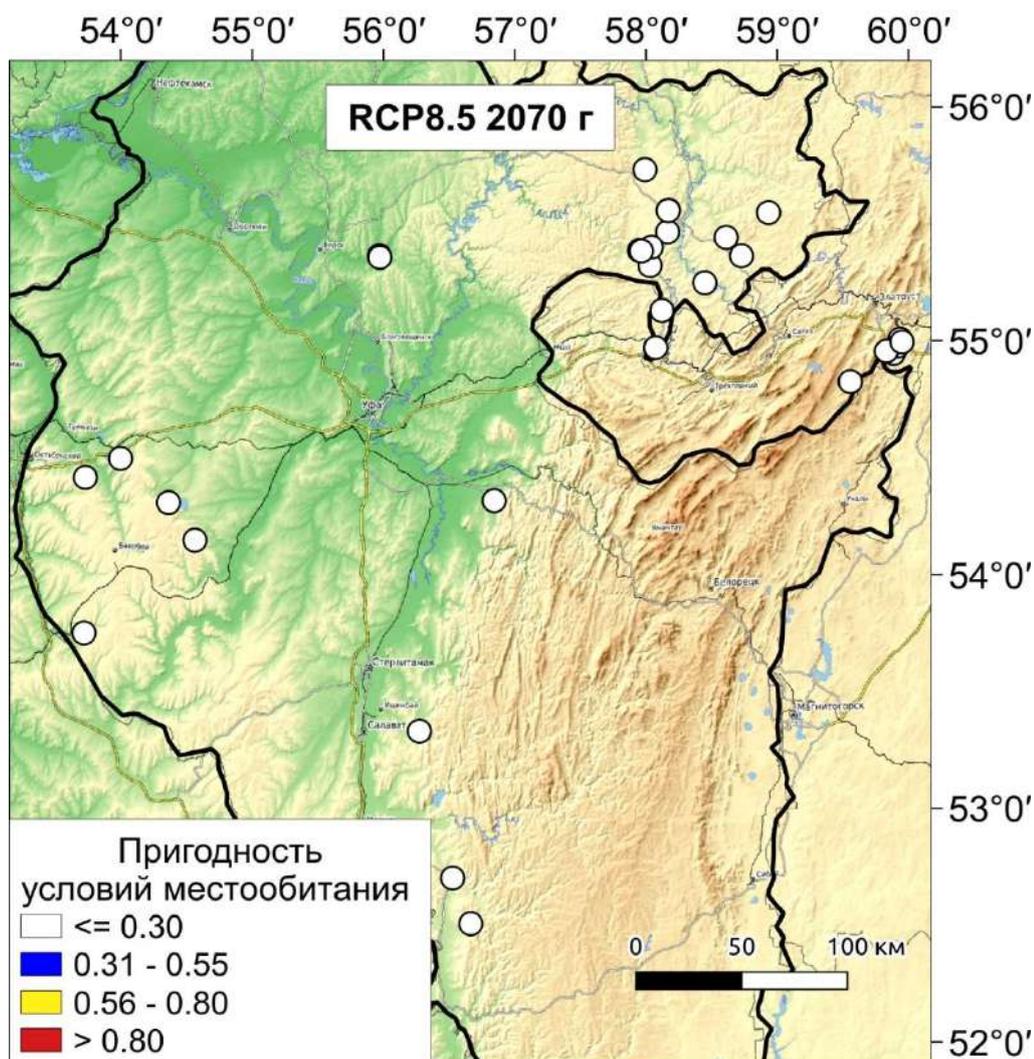


Рисунок 5.9 – Прогноз пригодности условий местообитания в локалитетах *Schoenus ferrugineus* на Южном Урале при сильном (RCP8.5) изменении климата во второй половине (2070 г.) XXI века.

***Gentianopsis barbata*.** Несмотря на то, что по литературным данным вид обладает толерантностью к периодической сухости экотопов (Ермаков, 2006), уже при умеренном изменении климата к 2050 г. прогнозируется исчезновение высокопригодных условий местообитания в локалитетах *G. barbata* (рис. 5.10). К 2070 г. при умеренном изменении климата среднепригодные условия произрастания сохранятся только в 3 локалитетах в горно-лесной зоне (рис. 5.11).

При сильном изменении климата уже к 2050 г. исчезнут все высоко- и среднепригодные условия местообитания во всех известных локалитетах (рис.

5.12). Низкопригодные условия местообитания сохранятся только в локалитетах, находящихся в горно-лесной зоне и горно-лесостепной зоне на восточном макросклоне Южного Урала. К 2070 г. на территории ЮУ прогнозируется исчезновение локалитетов с пригодными условиями местообитания (рис. 5.13). В случае длительного влияния сценария сильного изменения климата вид *G. barbata* может частично сохраниться на небольших по площади

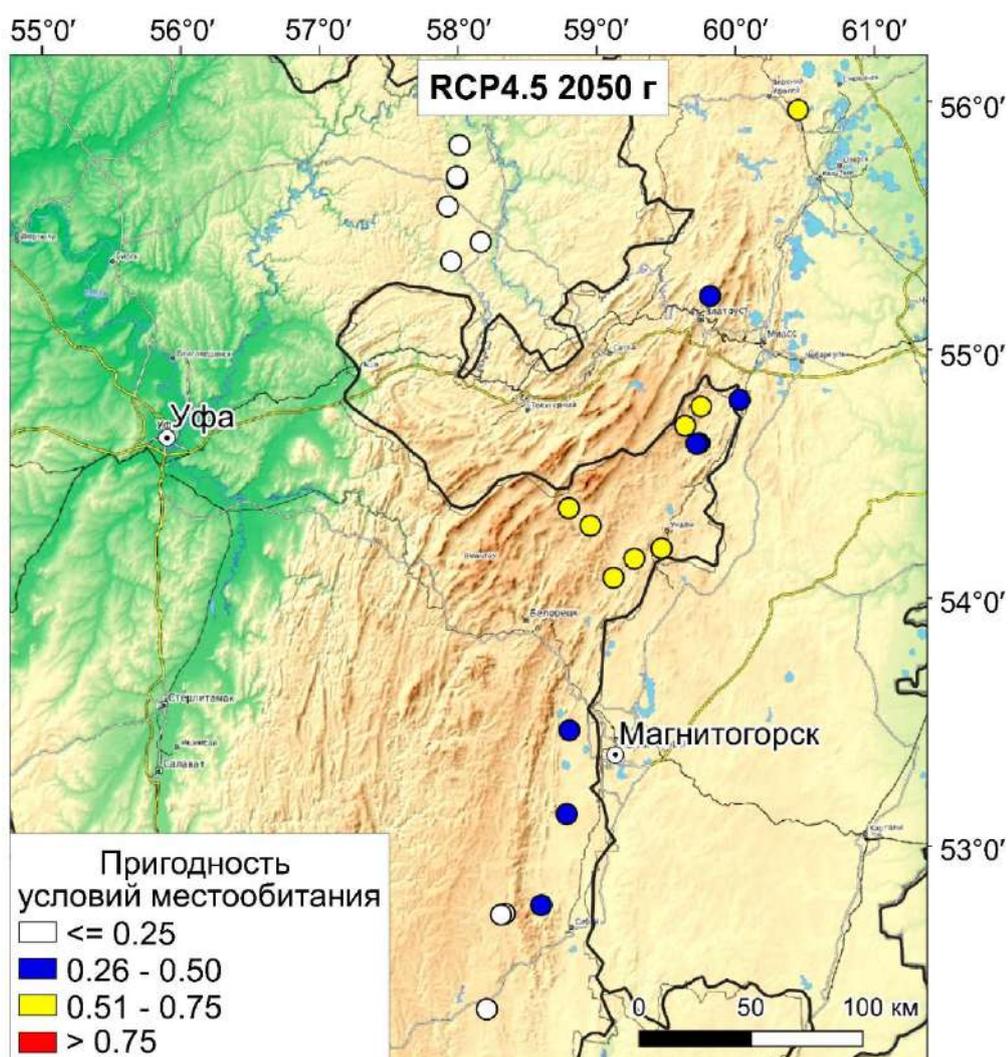


Рисунок 5.10 – Прогноз пригодности условий местообитания в локалитетах *Gentianopsis barbata* на Южном Урале при умеренном (RCP4.5) изменении климата в середине (2050 г.) XXI века.

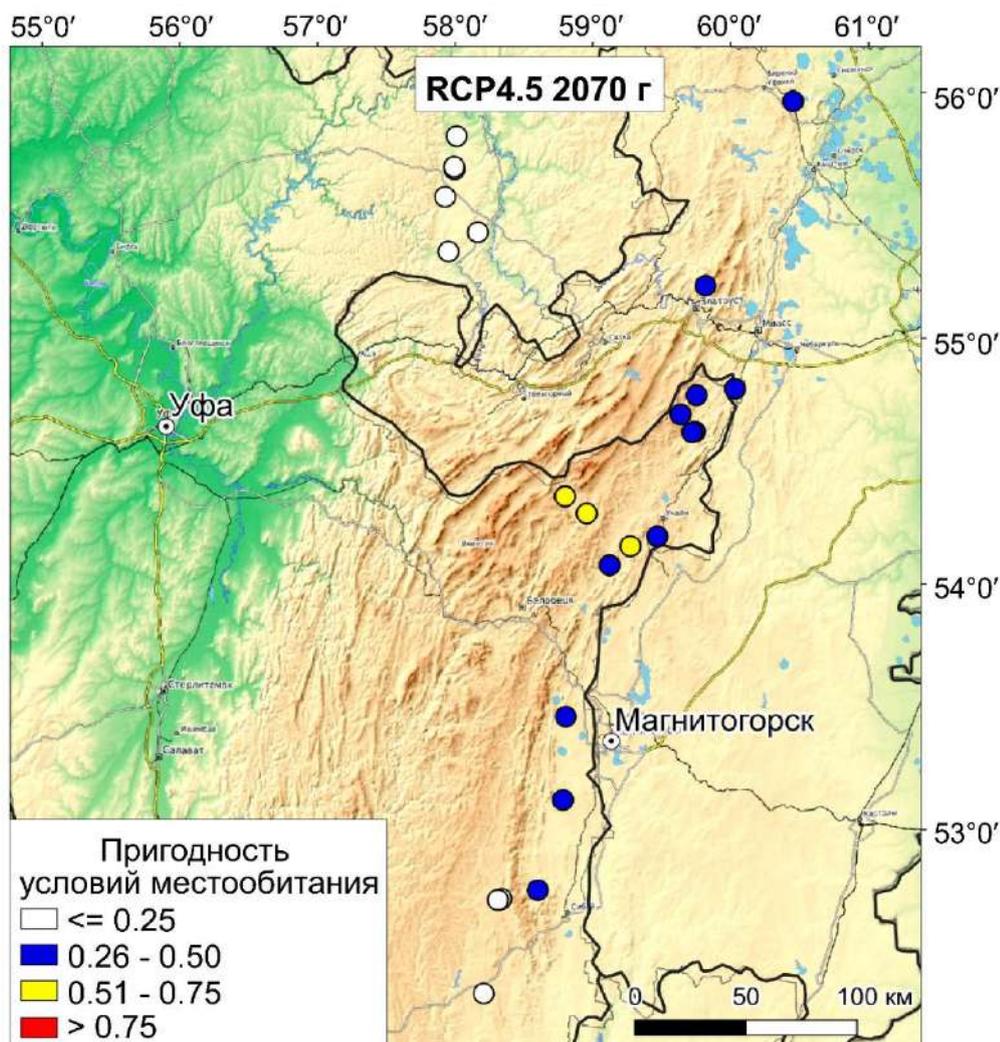


Рисунок 5.11 – Прогноз пригодности условий местообитания в локалитетах *Gentianopsis barbata* на Южном Урале при умеренном (RCP4.5) изменении климата во второй половине (2070 г.) XXI века.

участках за счет своих особенностей жизненного цикла – его прохождения в течение одного-двух вегетационных сезонов, что позволяет виду в локальных благоприятных условиях дойти до плодоношения (Мулдашев, Галеева, 2021). В этих условиях сохранение вида будет зависеть от сохранности и способности к прорастанию семян в более влажные годы.

Таким образом, на основе моделирования изменения условий местообитания *G. barbata* при изменении климата установлено, что этот вид недостаточно толерантен к возможной ксерофитизации климата. При сценарии сильного изменения климата можно прогнозировать, что в существующих

локалитетах сохранятся только единичные экземпляры этого вида, которые могут постепенно полностью исчезнуть.

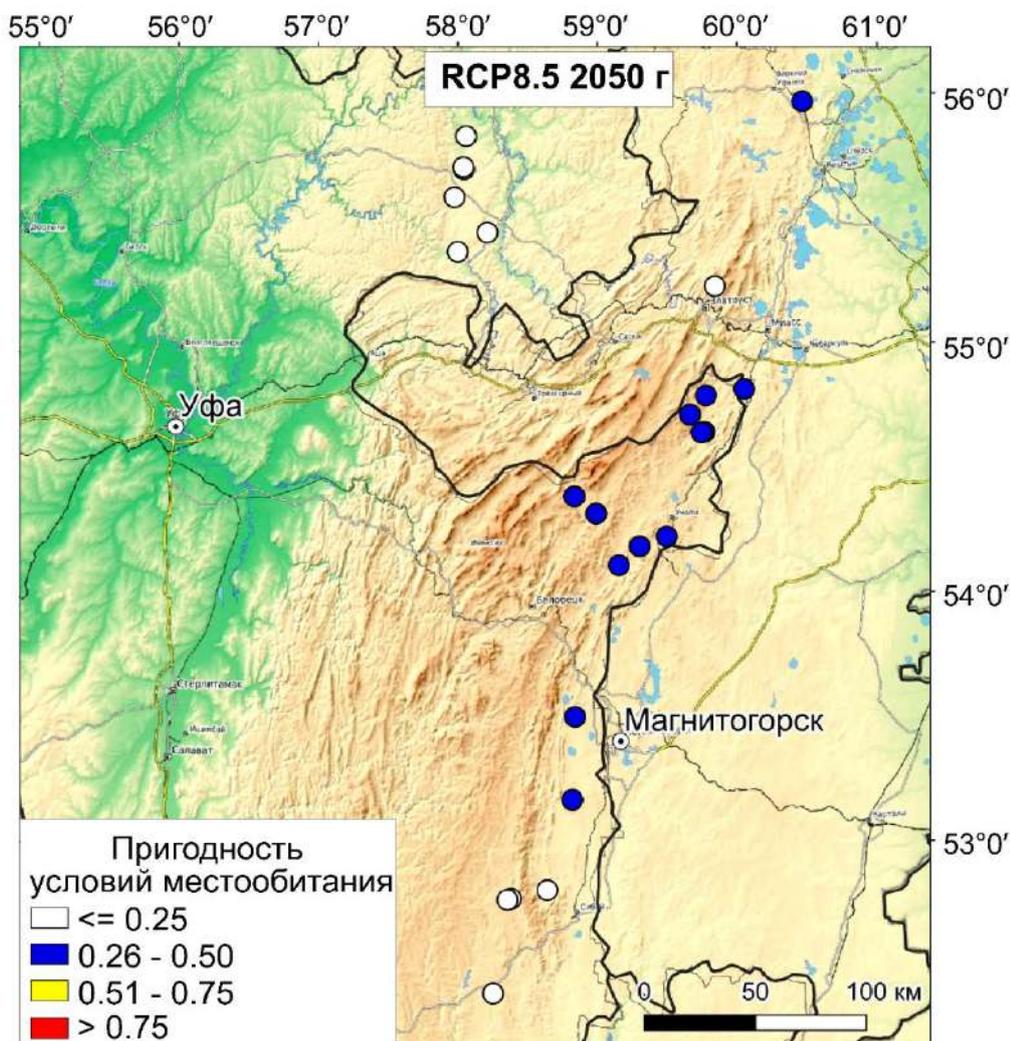


Рисунок 5.12 – Прогноз пригодности условий местообитания в локалитетах *Gentianopsis barbata* на Южном Урале при сильном (RCP8.5) изменении климата в середине (2050 г.) XXI века.

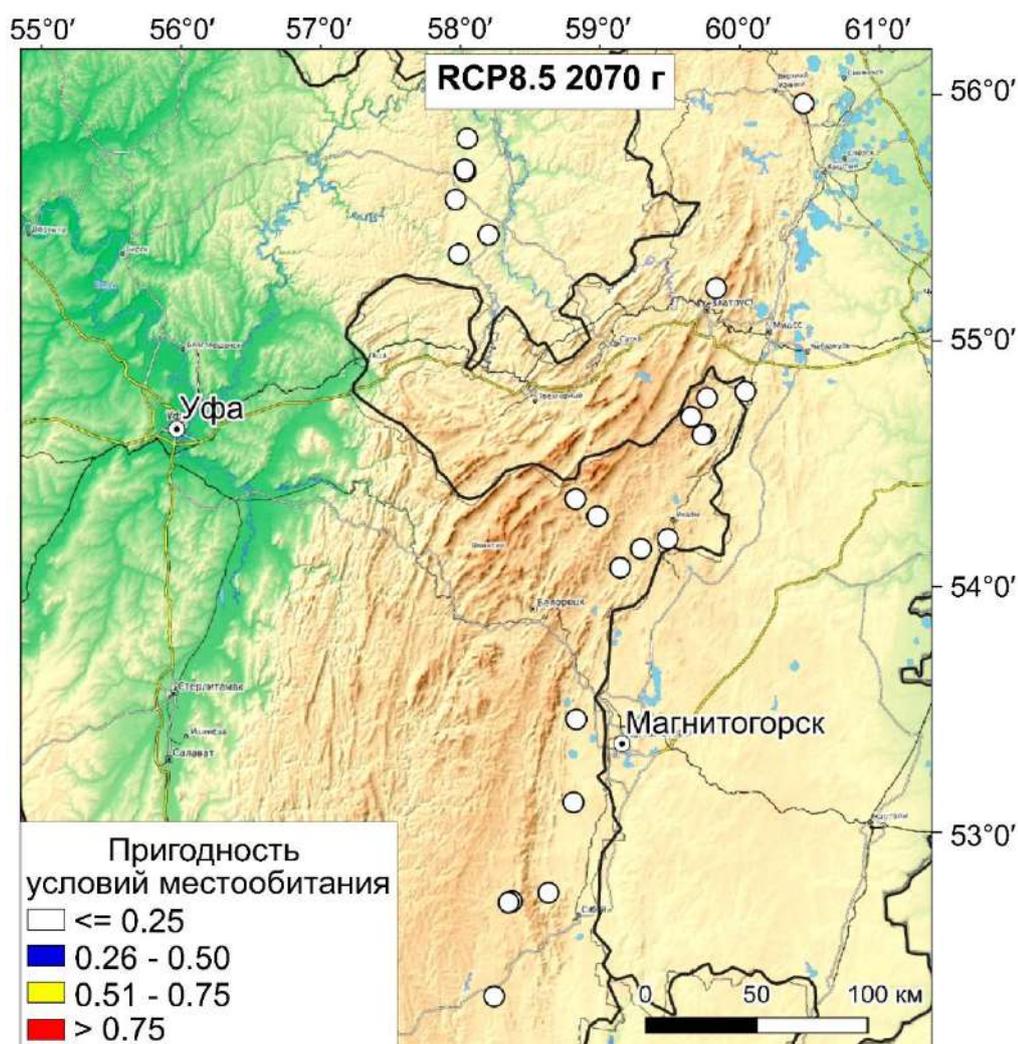


Рисунок 5.13 – Прогноз пригодности условий местообитания в локалитетах *Gentianopsis barbata* на Южном Урале при сильном (RCP8.5) изменении климата во второй половине (2070 г.) XXI века.

Zigadenus sibiricus. При умеренном изменении климата к 2050 г. доля локалитетов с высокопригодными условиями местообитания снизится с 38 до 8 локалитетов, а к 2070 г. – до 4 локалитетов (рис. 5.14А, рис.5.14Б). При этом основные снижения пригодности условия местообитания будут происходить за счет локалитетов, находящихся на Уфимском плато, в Предуралье.

При сильном изменении климата высокопригодные условия местообитания во всех известных локалитетах исчезнут уже к 2050 г., а среднепригодные условия местообитания сохранятся только в 13 локалитетах. При этом в трети локалитетов, находящихся на Уфимском плато, условия

местообитания этого вида станут непригодными (рис. 5.15А). К 2070 г. пригодные условия местообитания сохранятся только в 12 локалитетах, в основном в горно-лесной зоне (рис. 5.15Б).

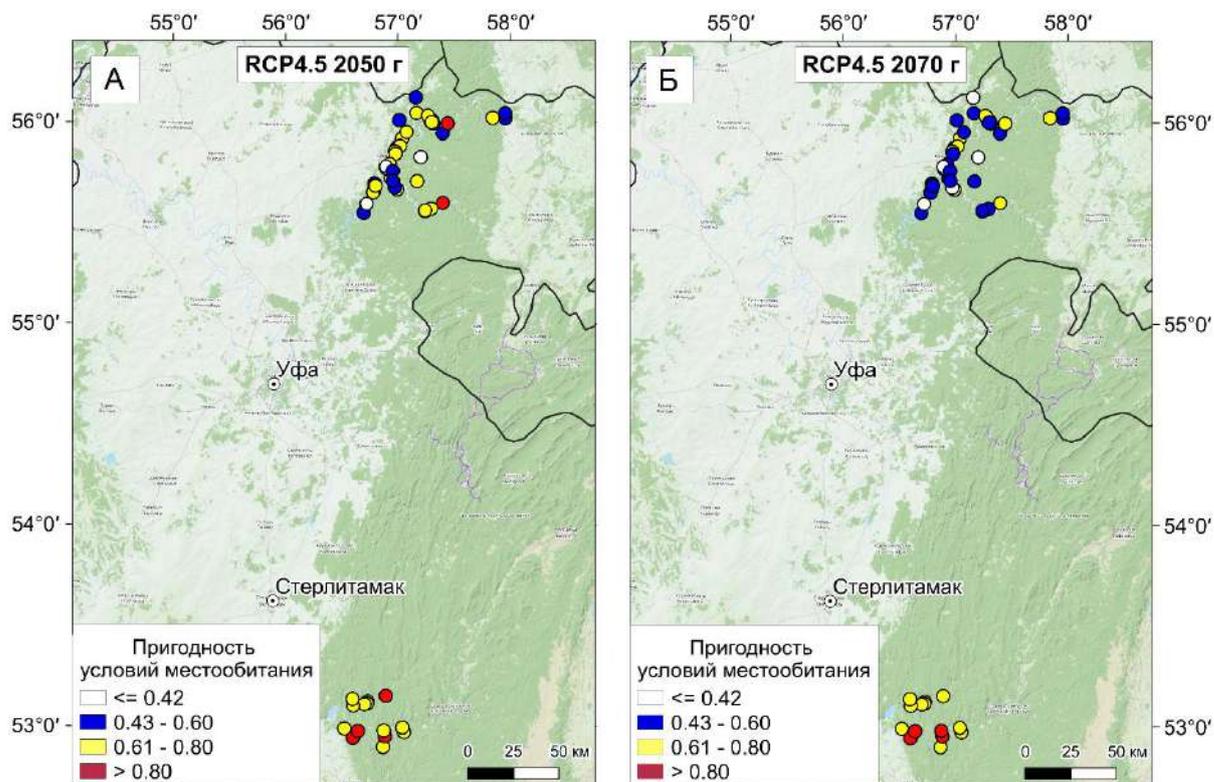


Рисунок 5.14 – Прогноз пригодности условий местообитания в локалитетах *Zigadenus sibiricus* на Южном Урале при умеренном (RCP4.5) изменении климата в середине (2050 г.) и во второй половине (2070 г.) XXI века.

Прогнозируется, что основной причиной снижения пригодности условий местообитания вида *Z. sibiricus* будет расширение распространения широколиственных древесных видов и комбинированное влияние климатических изменений и лесохозяйственной деятельности. Эти процессы, в ряде случаев, будут обуславливать постепенное замещение зеленомошных сосновых и елово-пихтово-лиственничных лесов, в которых произрастает этот вид на Южном Урале на другие типы леса (Оценочный доклад..., 2008; Широких и др., 2013). Можно прогнозировать, что на территориях с сильным ухудшением условий произрастания благоприятные условия будут сохраняться в местообитаниях с более низким уровнем конкуренции – на

скальных останцах, по скалистым берегам рек и каменистым осыпям, что характерно для этого вида на границах его распространения, например, на Дальнем Востоке (Дудов, 2011; Беркутенко, 2012; Мочалова, 2014; Зайцева, 2014; Поспелова, 2019).

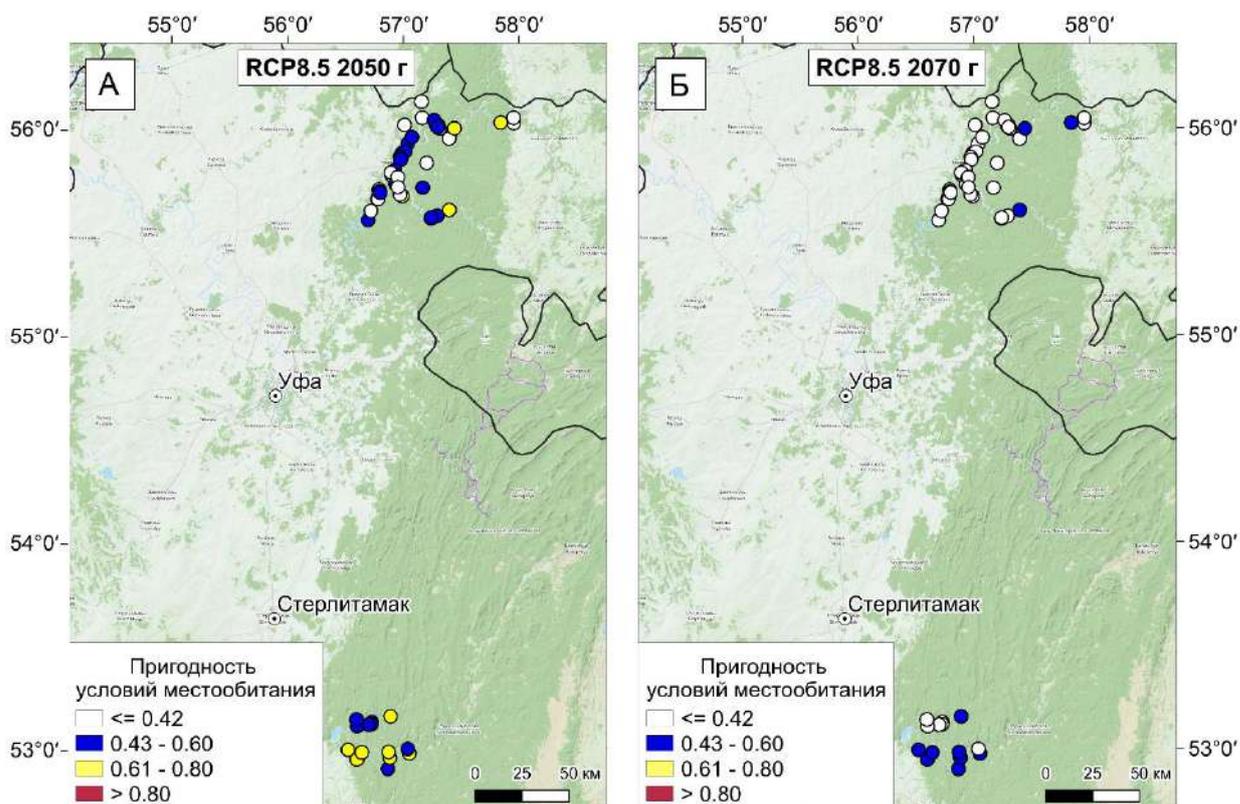


Рисунок 5.15 – Прогноз пригодности условий местообитания в локалитетах *Zigadenus sibiricus* на Южном Урале при сильном (RCP8.5) изменении климата в середине (2050 г.) и во второй половине (2070 г.) XXI века

5.2 Виды, у которых прогнозируется возрастание пригодности условий местообитания с последующим снижением при длительном влиянии климатических изменений

Второй тип изменения пригодности условий местообитания характерен для представителей горно-лесостепной (*Linaria uralensis*, *Delphinium uralense*) и лугово-опушечной (*Allium obliquum*) групп. В связи с тем, что у этих видов при изменении климата в той или иной степени наблюдается улучшение

условий местообитания, а виды не приурочены к стенотопным местообитаниям, целесообразно рассмотреть не только изменение условий местообитания в конкретных локалитетах, но и изменения площадей их потенциальных ареалов.

***Linaria uralensis*.** Результаты моделирования пригодности условий произрастания *L. uralensis* при умеренном изменении климата к середине XXI века показали, что прогнозируется резкое увеличение площадей территорий с низкопригодными условиями местообитания преимущественно по периметру расширяющегося ареала (рис. 5.16). В центральной части ареала будет увеличиваться пригодность некоторых участков с низкой пригодностью местообитания, что в целом увеличит площадь территорий со средне- и высокопригодными условиями местообитания (рис. 5.20). Во второй половине XXI века намечается тенденция к снижению распространения территорий со среднепригодными условиями местообитания для этого вида, а площади

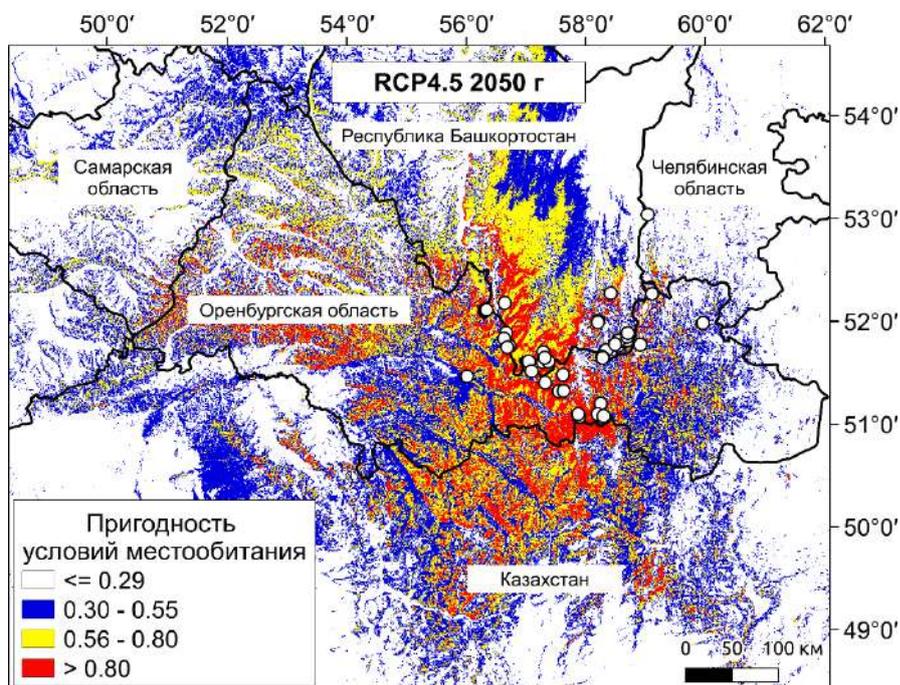


Рисунок 5.16 – Прогноз пригодности условий произрастания *Linaria uralensis* на Южном Урале при умеренном (RCP4.5) изменении климата в середине (2050 г.) XXI века. Белыми кружками отмечены известные местонахождения вида.

территорий с высокопригодными местообитаниями уменьшатся почти до современного уровня (рис. 5.17, 5.20).

При сильном изменении климата к середине XXI века прогнозируется еще более сильное увеличение площадей территорий с низко- и среднепригодными условиями местообитания (рис. 5.18, 5.20). Однако при этом распространение территорий с высокопригодными условиями местообитания увеличится в меньшей степени по сравнению с увеличением распространения при умеренном изменении климата в аналогичный временной период (рис. 5.20). Далее, во второй половине XXI века, прогнозируется резкое снижение площадей распространения всех трех групп пригодности условий местообитания, которые тем не менее будут большими, чем в настоящее время (рис. 5.19, 5.20), а также резкое увеличение числа локалитетов с высокопригодными условиями местообитания (рис. 5.21).

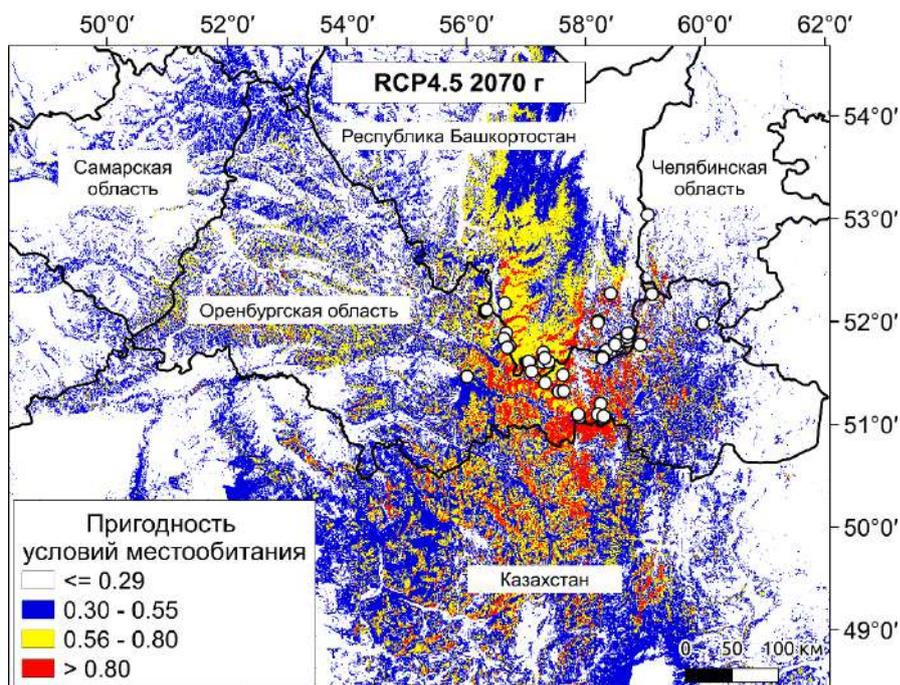


Рисунок 5.17 – Прогноз пригодности условий произрастания *Linaria uralensis* на Южном Урале при умеренном (RCP4.5) изменении климата во второй половине (2070 г.) XXI века. Белыми кружками отмечены известные местонахождения вида.

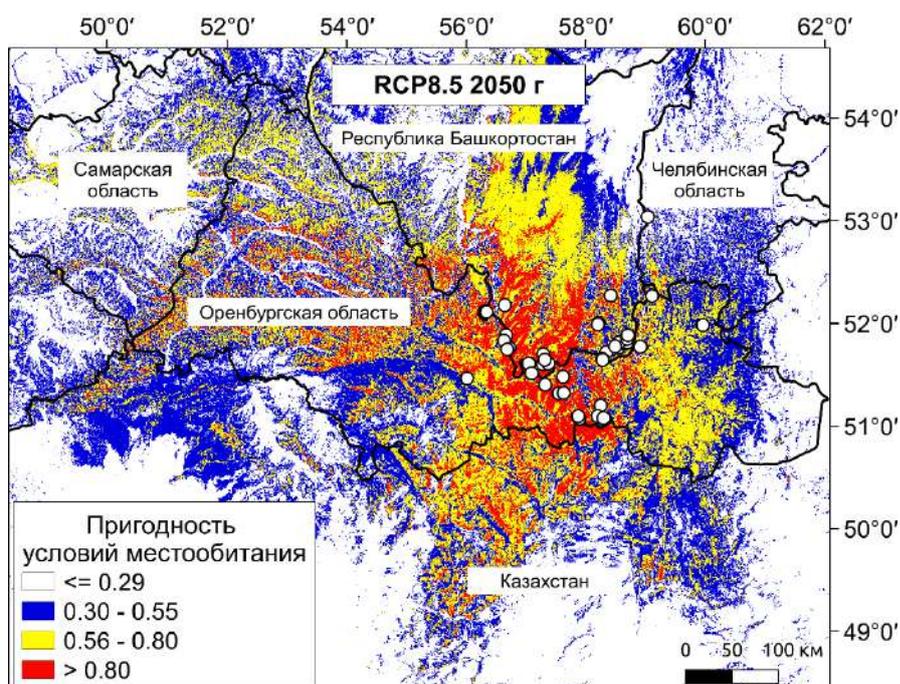


Рисунок 5.18 – Прогноз пригодности условий произрастания *Linaria uralensis* на Южном Урале при сильном (RCP8.5) изменении климата в середине (2050 г.) XXI века. Белыми кружками отмечены известные местонахождения вида.

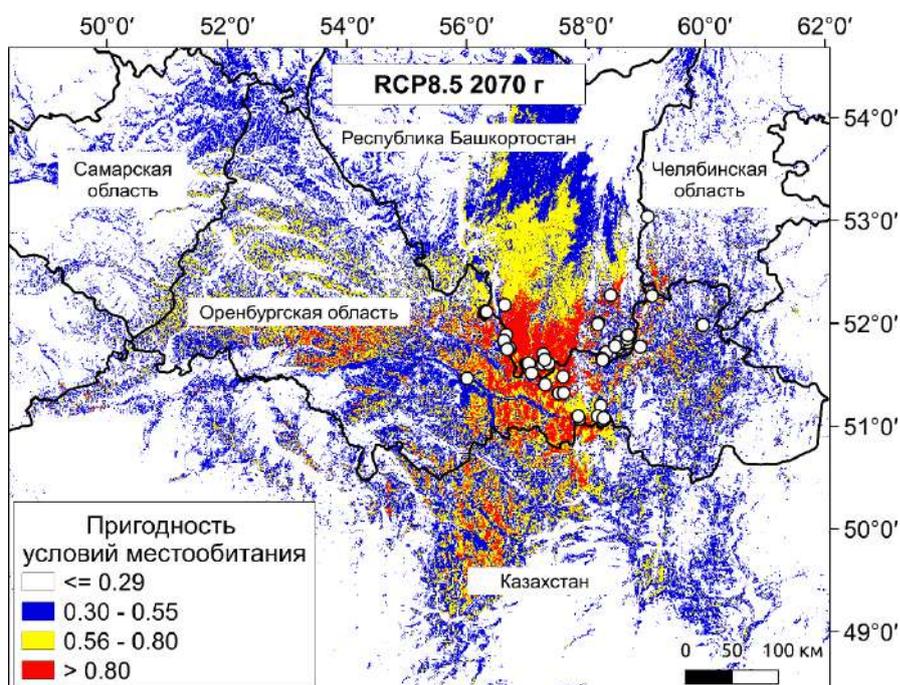


Рисунок 5.19 – Прогноз пригодности условий произрастания *Linaria uralensis* на Южном Урале при сильном (RCP8.5) изменении климата во второй половине (2070 г.) XXI века. Белыми кружками отмечены известные местонахождения вида.

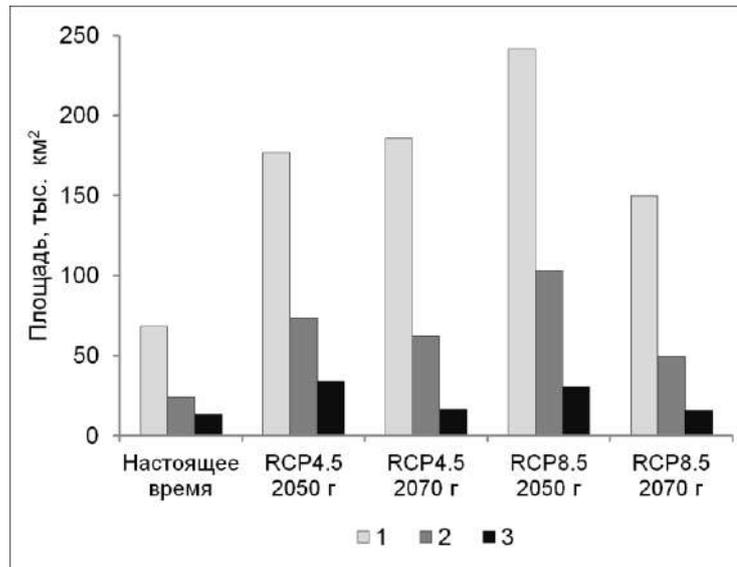


Рисунок 5.20 – Изменение площадей с пригодными условиями местообитания *Linaria uralensis* на Южном Урале при умеренном (RCP4.5) и сильном (RCP8.5) изменении климата в середине (2050 г.) и во второй половине (2070 г.) XXI века.

Примечание: 1 – низкопригодные условия местообитания, 2 – среднепригодные, 3 – высокопригодные.

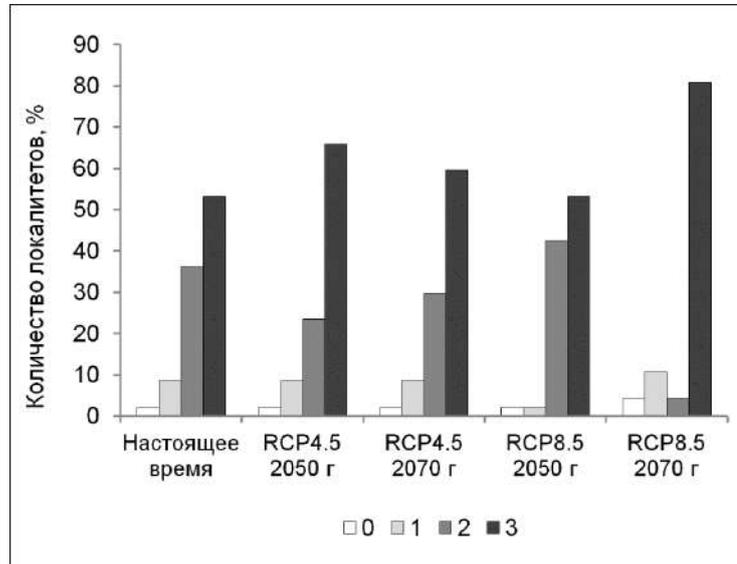


Рисунок 5.21 – Изменение пригодности условий местообитания в локалитетах *Linaria uralensis* на Южном Урале при умеренном (RCP4.5) и сильном (RCP8.5) изменении климата в середине (2050 г.) и во второй половине (2070 г.) XXI века.

Примечание: 0 – непригодные условия местообитания, 1 – низкопригодные, 2 – среднепригодные, 3 – высокопригодные.

Преобладающее большинство современных локалитетов вида *L. uralensis* расположены преимущественно в степной зоне. Одним из основных лимитирующих факторов произрастания рассматриваемого вида и конкурирующих с ним других видов степной растительности является количество осадков, а также температура, которая обуславливает скорость испарения осадков. В таблице 5.2 приведены данные по изменению среднегодовой и летней температур и суммы осадков, которые в значительной степени объясняют изменение пригодности условий местообитания при изменении климата. Из таблицы видно, что при умеренном изменении климата возрастает среднегодовая сумма осадков при ее сохранении на том же уровне в наиболее теплый квартал. Увеличение пригодности условий местообитания *L. uralensis* при умеренном и сильном изменении климата может объясняться увеличением влагообеспеченности почвы в весенний период. Увеличение засушливости климата в летний период менее существенно, так как для изучаемого вида характерно быстрое сезонное развитие. Это косвенно подтверждается меньшей изменчивостью площадей наиболее каменистых участков с высокопригодными условиями местообитания по сравнению с площадями территорий со средней и низкой пригодностью условий местообитания этого вида. Причины уменьшения площадей территорий со средней и высокой пригодностью условий местообитания ко второй половине XXI века (2070 г.) при обоих сценариях изменения климата неясны. Но можно предположить, что существенную роль будет играть уменьшение снегонакопления в зимний период вследствие увеличения температуры и более быстрое высыхание почвы в весенний период.

Результаты моделирования показали, что вид *L. uralensis* обладает достаточно высокой засухоустойчивостью. Можно прогнозировать сохранность условий произрастания этого вида в области его современного распространения и даже некоторое увеличение площадей территорий с высоко- и среднепригодными условиями местообитания как при умеренном, так и при сильном изменении климата. Летние засухи будут обуславливать

увеличение пастбищных нагрузок, которые будут приводить к увеличению эрозии почв на крутых и покатых склонах, что будет стимулировать семенное возобновление этого вида на обнажающихся каменистых породах.

Таблица 5.2. – Прогнозируемое увеличение температуры и количества осадков в области современного распространения вида *Linaria uralensis* при умеренном (RCP4.5) и сильном (RCP8.5) изменении климата в середине (2050) и во второй половине (2070) XXI века в сравнении с настоящим временем

Сценарии изменения климата	Изменение температуры, °С		Изменение количества осадков, мм	
	Среднегодовой	Наиболее теплого квартала*	Среднегодового	Наиболее теплого квартала*
RCP4.5 (2050)	2,3	2,1	29,9	6,6
RCP4.5 (2070)	2,7	2,3	41,8	5,5
RCP8.5 (2050)	2,8	2,8	7,38	2,8
RCP8.5 (2070)	4,3	4,2	41,2	3,6

Примечание: * наиболее теплый квартал на исследуемой территории – июнь-август.

Delphinium uralense. При умеренном изменении климата согласно сценарию RCP4.5 к 2050 г. будет возрастать аридизация в потенциальных местообитаниях вида *D. uralense*. Из рисунков 5.22 и 5.26 видно, что прогнозируется возрастание площадей средне- и низкопригодных условий местообитания. Это особенно заметно за счет увеличения их распространения на Бугульминско-Белебеевской возвышенности и на севере Оренбургской области, а также по их продвижению по остепненным восточным склонам ЮУ (рис. 5.22). К 2070 г. при умеренном изменении климата существенно снизится

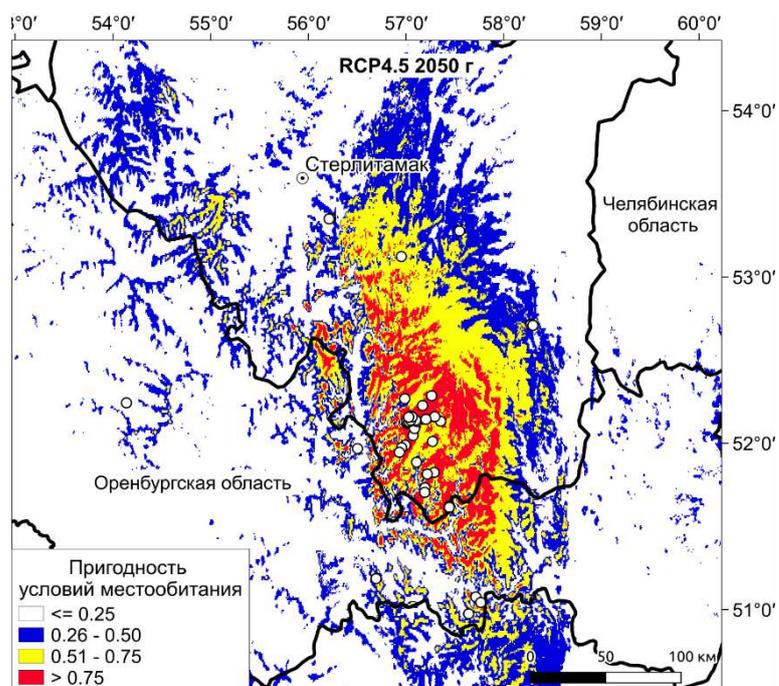


Рисунок 5.22 – Прогноз пригодности условий произрастания *Delphinium uralense* на Южном Урале при умеренном (RCP4.5) изменении климата в середине (2050 г.) XXI века. Белыми кружками отмечены известные местонахождения вида.

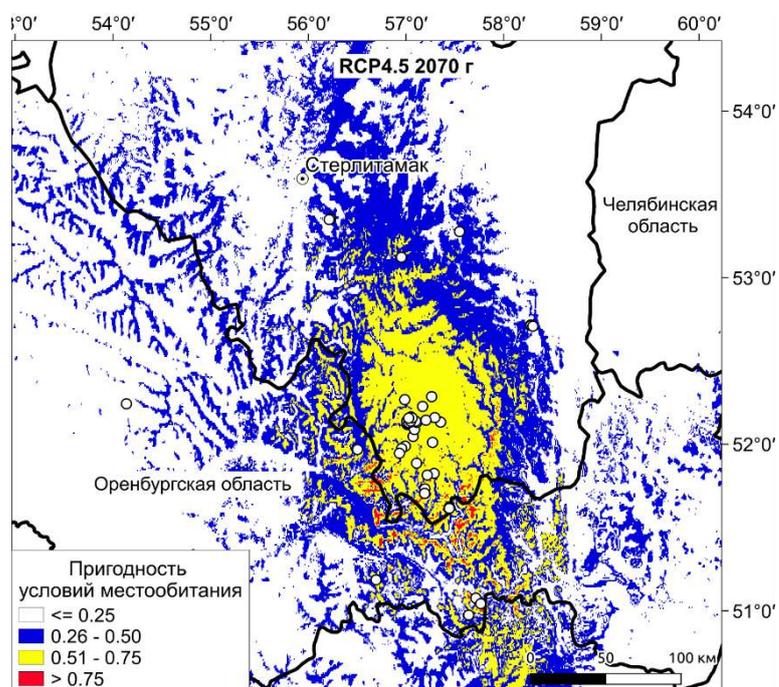


Рисунок 5.23 – Прогноз пригодности условий произрастания *Delphinium uralense* на Южном Урале при умеренном (RCP4.5) изменении климата во второй половине (2070 г.) XXI века. Белыми кружками отмечены известные местонахождения вида.

распространение высокопригодных условий местообитания этого вида, которые сохранятся на южной границе РБ и в Оренбургской области (рис. 5.23, 5.26), и в известных локалитетах исчезнут высокопригодные условия местообитания (рис. 5.27).

При сильном изменении климата к 2050 г. отмечается большее увеличение распространения высокопригодных условий местообитания на Бугульминско-Белебеевской возвышенности и в Зауралье, чем при умеренном изменении климата (рис. 5.24, 5.27). Площади высокопригодных условий местообитания к 2070 г. значительно сократятся до уровня ниже современного распространения (рис. 5.26). На территории РБ и Оренбургской области высоко- и среднепригодные условия местообитания уменьшатся, а на Бугульминско-Белебеевской возвышенности исчезнут совсем (рис. 5.25). При сильном изменении климата в известных локалитетах высокопригодные условия местообитания резко снизятся, в том числе и по сравнению с пригодностью местообитания в настоящее время (рис. 5.27).

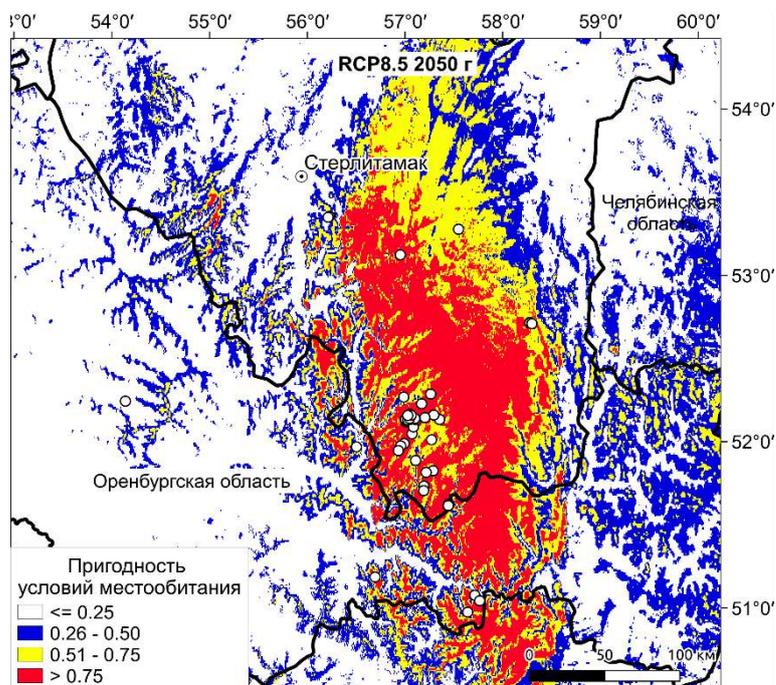


Рисунок 5.24 – Прогноз пригодности условий произрастания *Delphinium uralense* на Южном Урале при сильном (RCP8.5) изменении климата в середине (2050 г.) XXI века. Белыми кружками отмечены известные местонахождения вида.

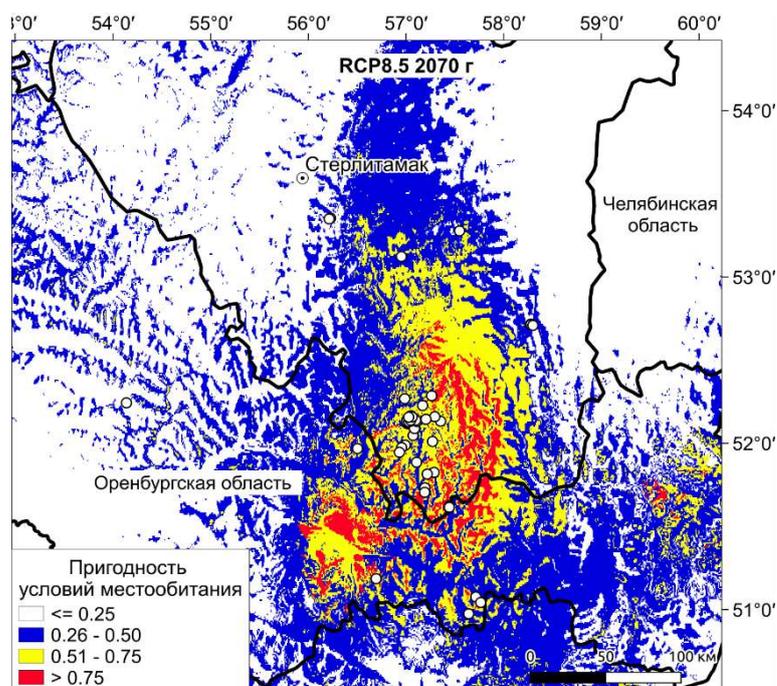


Рисунок 5.25 – Прогноз пригодности условий произрастания *Delphinium uralense* на Южном Урале при сильном (RCP8.5) изменении климата во второй половине (2070 г.) XXI века. Белыми кружками отмечены известные местонахождения вида.

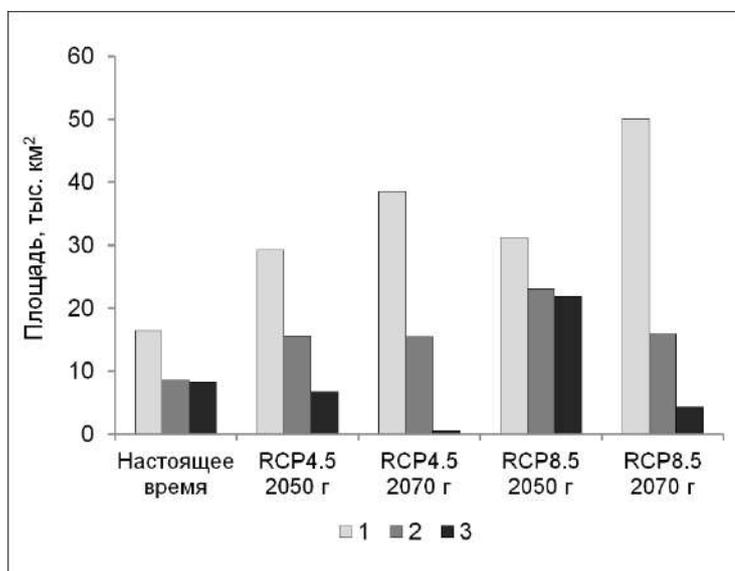


Рисунок 5.26 – Изменение площадей с пригодными условиями местообитания *Delphinium uralense* на Южном Урале при умеренном (RCP4.5) и сильном (RCP8.5) изменении климата в середине (2050 г.) и во второй половине (2070 г.) XXI века.

Примечание: 1 – низкопригодные условия местообитания, 2 – среднепригодные, 3 – высокопригодные.

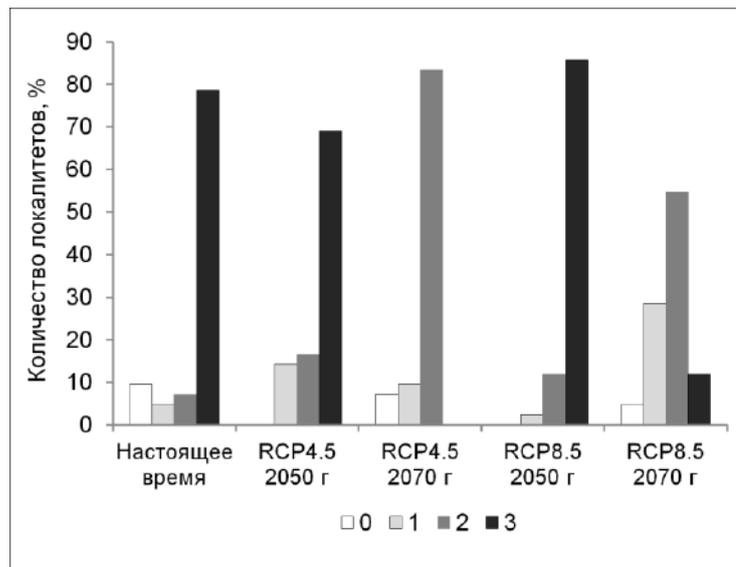


Рисунок 5.27 – Изменение пригодности условий местообитания в локалитетах *Delphinium uralense* на Южном Урале при умеренном (RCP4.5) и сильном (RCP8.5) изменении климата в середине (2050) и во второй половине (2070) XXI века.

Примечание: 0 – непригодные условия местообитания, 1 – низкопригодные, 2 – среднепригодные, 3 – высокопригодные.

Распространению вида может способствовать возрастающая нестабильность выпадения осадков при изменении климата и в связи с падением продуктивности лугово-степной растительности возрастание интенсивности выпаса скота, которая будут увеличивать эрозию почв на склонах.

Allium obliquum. Результаты моделирования пригодности условий произрастания показали, что у более мезофитного лугово-опушечного вида *A. obliquum* при умеренном изменении климата к первой половине XXI в. (2050 г.) на территории Республики Башкортостан прогнозируется увеличение площадей с низко- и высокопригодными условиями местообитания (рис. 5.28 и 5.32). Во второй половине XXI в. (2070 г.) прогнозируется небольшое снижение площадей с высокопригодными условиями местообитания, но, в целом, площади пригодных условий местообитания будут примерно равны

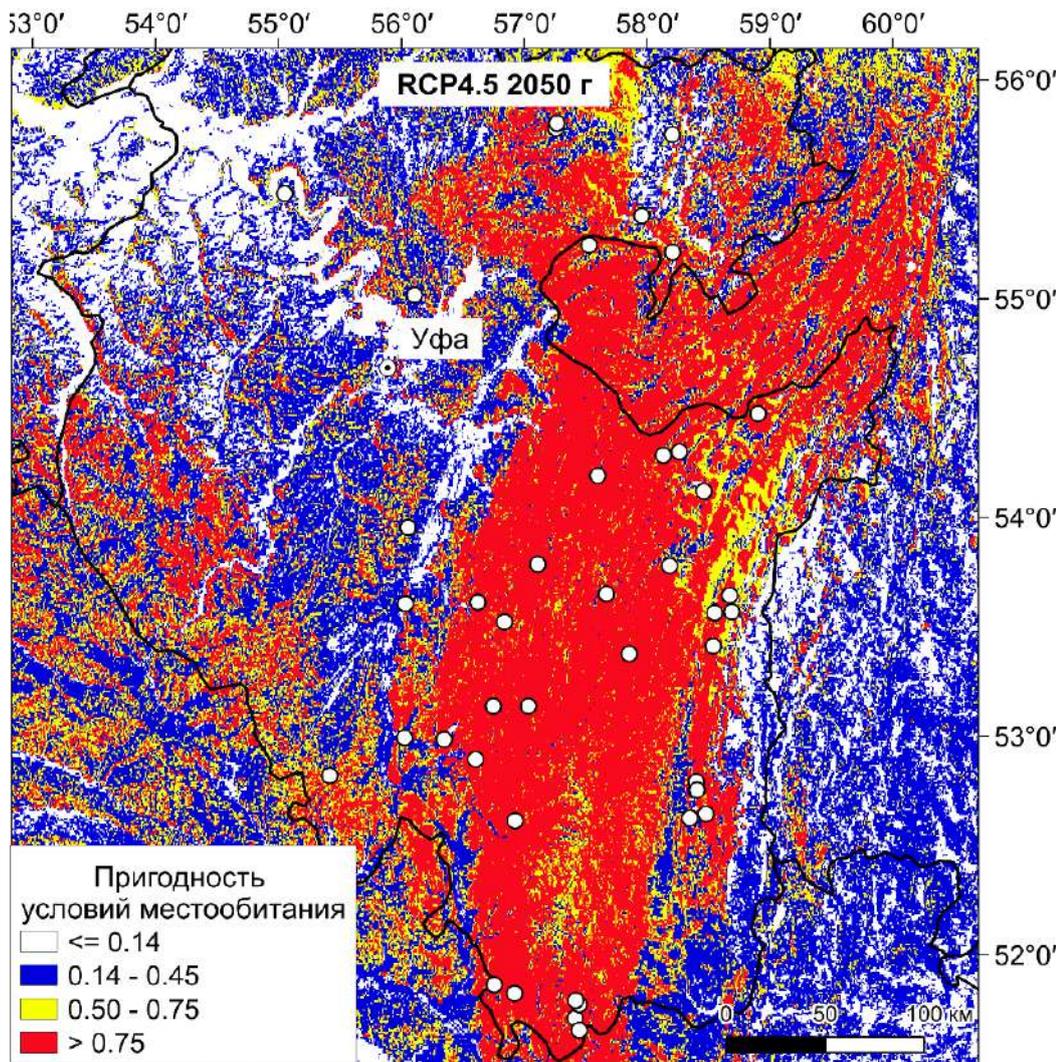


Рисунок 5.28 – Прогноз пригодности условий произрастания *Allium obliquum* на Южном Урале при умеренном (RCP4.5) изменении климата в середине (2050 г.) XXI века. Белыми кружками отмечены известные местонахождения вида.

площадям с пригодными условиями местообитания в настоящее время (рис. 5.29, 5.32). При этом число известных локалитетов с высокопригодными условиями местообитания несколько снизится (рис. 5.33).

При сильном изменении климата (RCP8.5) к 2050 г. прогнозируется увеличение площадей среднепригодных условий местообитания, однако при этом площади высокопригодных условий местообитания несколько снизятся, и будет уменьшение пригодности условий местообитания в некоторых локалитетах (рис. 5.30, 5.32). При этом в известных локалитетах *A. obliquum*

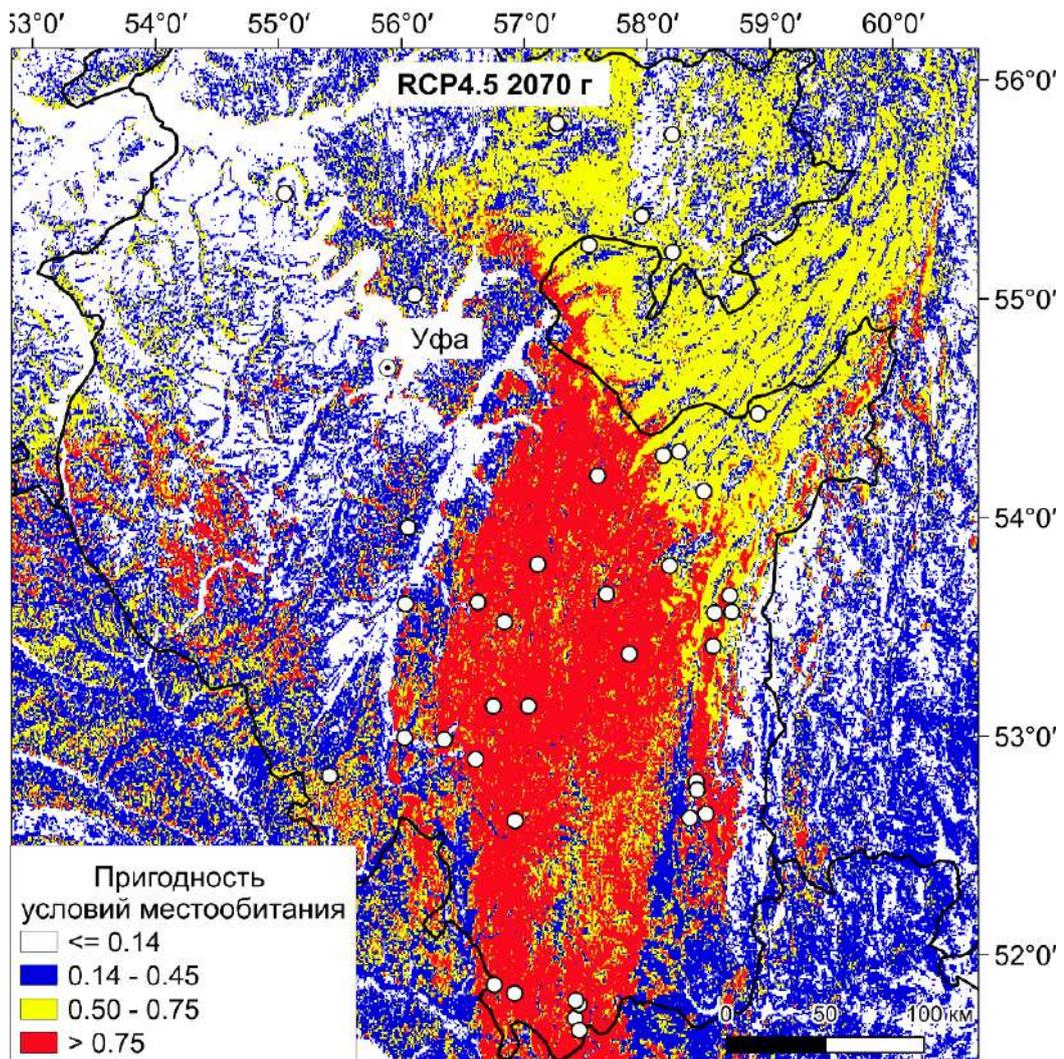


Рисунок 5.29 – Прогноз пригодности условий произрастания *Allium obliquum* на Южном Урале при умеренном (RCP4.5) изменении климата во второй половине (2070 г.) XXI века. Белыми кружками отмечены известные местонахождения вида.

высокопригодные условия местообитания уменьшатся, а среднепригодные – увеличатся (рис. 5.33). К 2070 г. площади с пригодными условиями местообитания снизятся по сравнению с настоящим временем на 25 %. Площади с высокопригодными условиями местообитания также резко снизятся (рис. 5.32). Количество локалитетов с высокопригодными условиями местообитания к 2070 г. будет снижаться за счет перехода в среднепригодные и низкопригодные (рис. 5.33). Средне- и высокопригодные условия местообитания в локалитетах сохранятся преимущественно в средней и

южной частях Южного Урала, на Зилаирском плато и на хребте Ирэндик (рис. 5.31, 5.33).

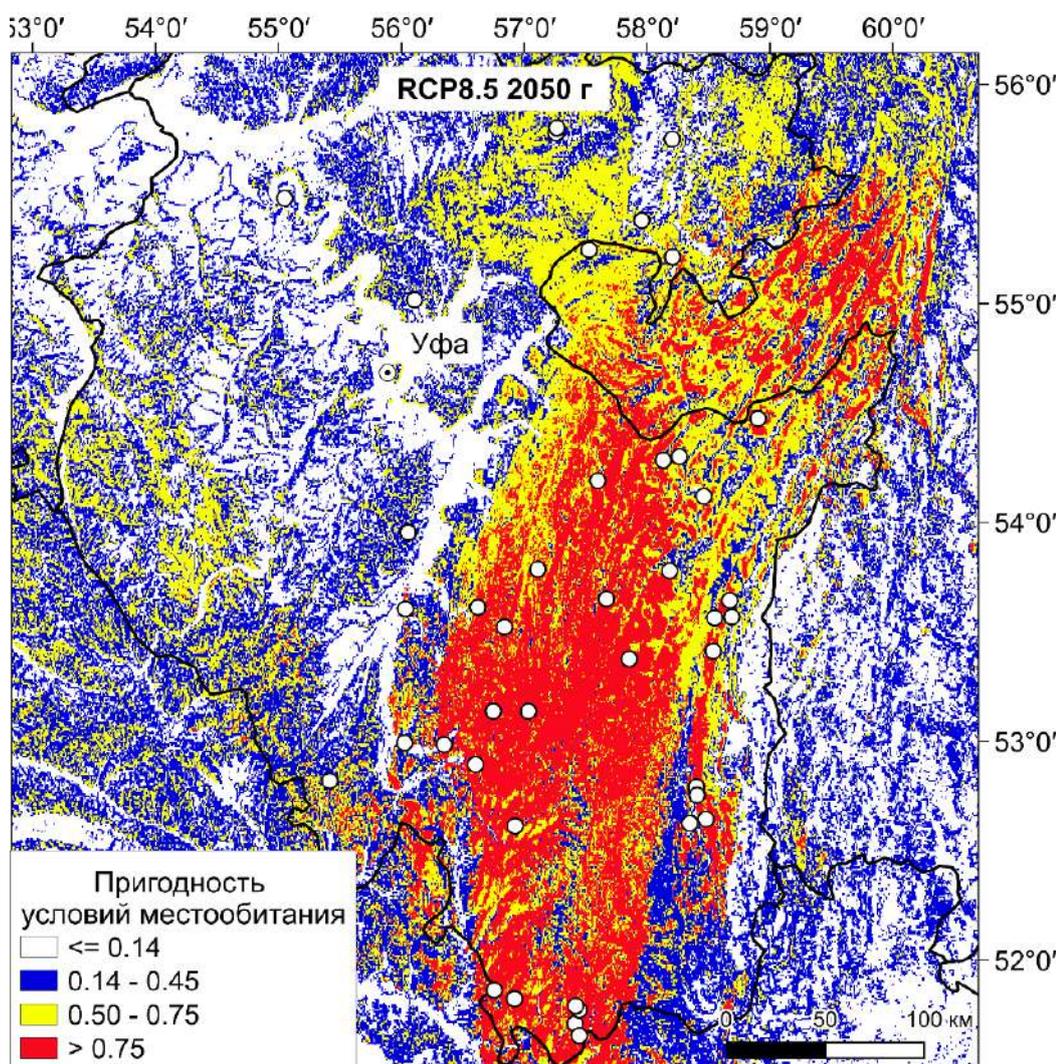


Рисунок 5.30 – Прогноз пригодности условий произрастания *Allium obliquum* на Южном Урале при сильном (RCP8.5) изменении климата в середине (2050 г.) XXI века. Белыми кружками отмечены известные местонахождения вида.

Снижение пригодности условий местообитания *A. obliquum* при сильном изменении климата на Южном Урале и Уфимском плато (рис. 5.31) может быть связано с увеличением распространения древесной растительности вследствие снижения летних и увеличения зимних осадков, а в равнинной части Предуралья – с уменьшением летних осадков и замещением лугово-степных сообществ, являющихся одним из типов местообитаний этого вида, на степные

сообщества. Моделирование не учитывает сбор *A. obliquum* населением и объедание животными при увеличении интенсивности выпаса скота вследствие снижения продуктивности пастбищ при возрастающей аридизации климата.

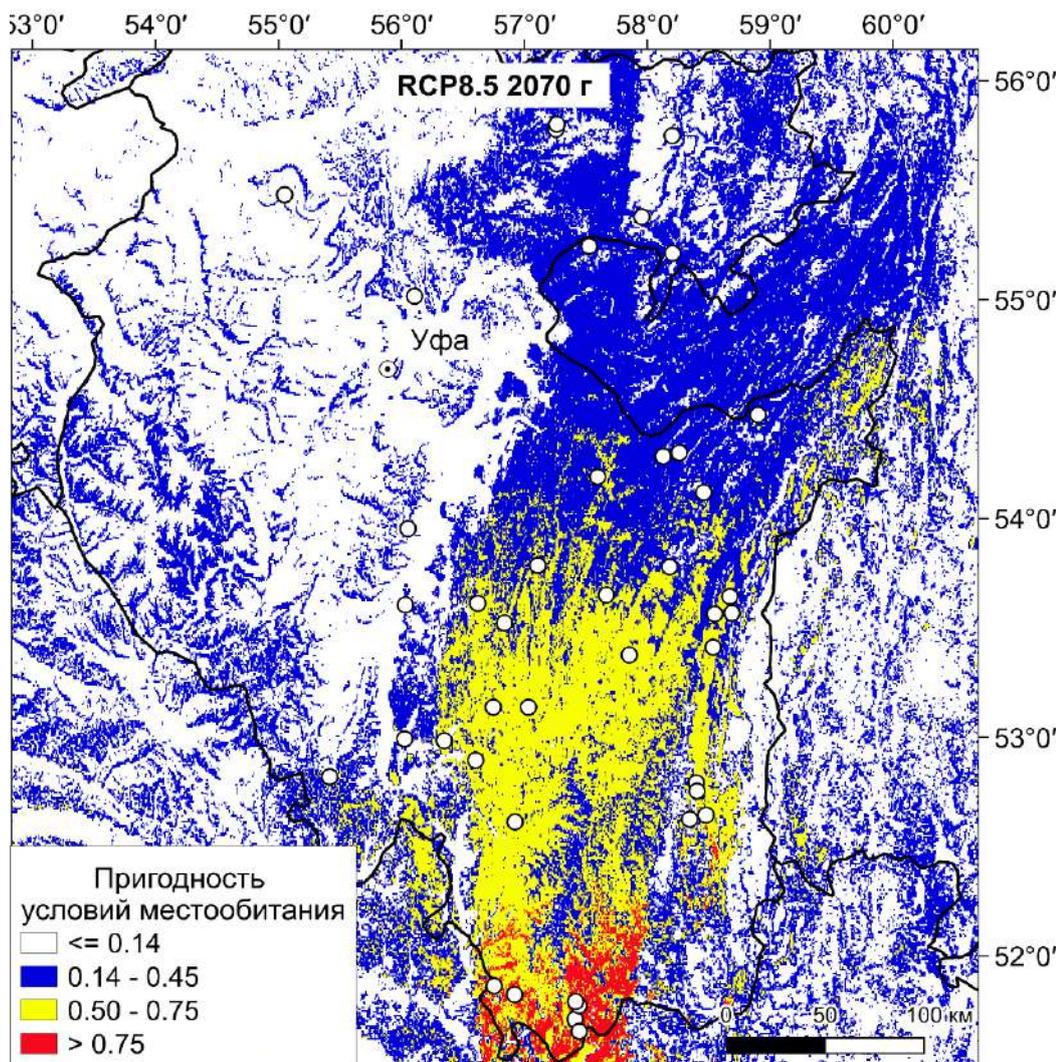


Рисунок 5.31 – Прогноз пригодности условий произрастания *Allium obliquum* на Южном Урале при сильном (RCP4.5) изменении климата во второй половине (2070 г.) XXI века. Белыми кружками отмечены известные местонахождения вида.

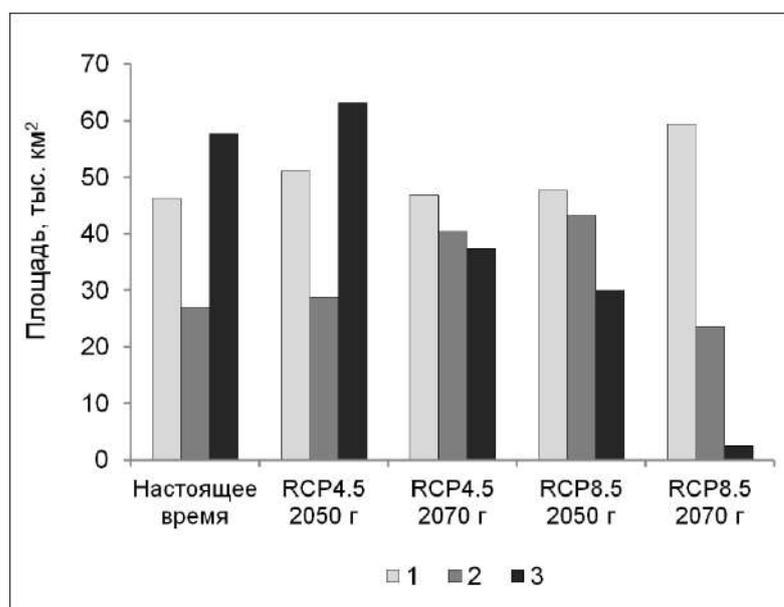


Рисунок 5.32 – Изменение площадей с пригодными условиями местообитания *Allium obliquum* на Южном Урале при умеренном (RCP4.5) и сильном (RCP8.5) изменении климата в середине (2050 г.) и во второй половине (2070 г.) XXI века.

Примечание: 1 – низкопригодные условия местообитания, 2 – среднепригодные, 3 – высокопригодные.

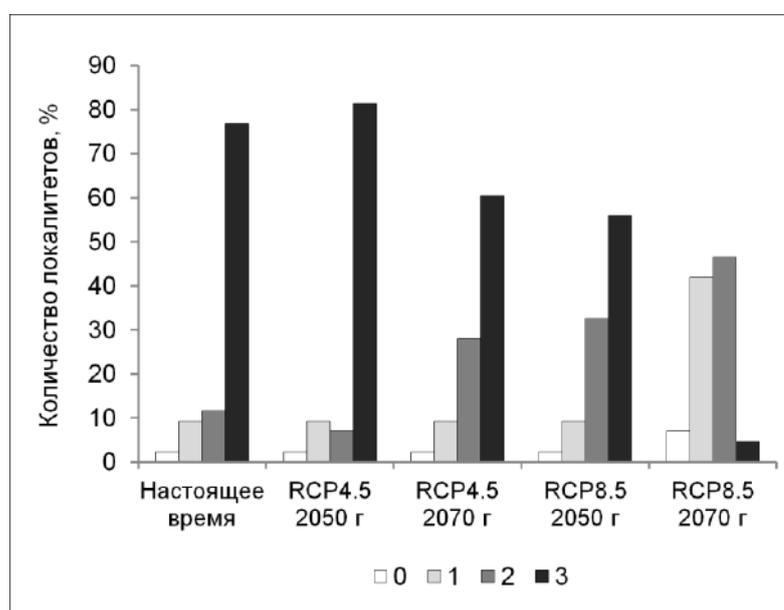


Рисунок 5.33 – Изменение пригодности условий местообитания в локалитетах *Delphinium uralense* на Южном Урале при умеренном (RCP4.5) и сильном (RCP8.5) изменении климата в середине (2050 г.) и во второй половине (2070 г.) XXI века.

Примечание: 0 – непригодные условия местообитания, 1 – низкопригодные, 2 – среднепригодные, 3 – высокопригодные.

Результаты моделирования показали, что *A. obliquum* достаточно устойчив к засушливому климату, но сильное изменение климата может оказать отрицательное влияние на условия его произрастания в известных локалитетах в Предуралье. При этом непригодные условия местообитания прогнозируются в трех существующих локалитетах, один из которых находится в Благовещенском районе, а два – в горно-лесной зоне ЮУ. Таким образом, не понадобится дополнительных мер или изменения существующих мер охраны этого вида даже при сильном изменении климата.

5.3 Общий прогноз устойчивости реликтовых видов плейстоценового комплекса к климатическим изменениям

Проведенный комплекс исследований позволяет сделать вывод о том, что потенциальная устойчивость видов рассмотренных эколого-ценотических групп зависит от широты экологической амплитуды видов и устойчивости растительных сообществ, являющихся их основными местообитаниями. При изменении климата будут наиболее устойчивыми виды горно-лесостепной группы, как наиболее адаптированные к аридизации климата. Устойчивость группы высокогорных видов зависит от скорости сдвига верхней границы распространения леса, который уже наблюдается в настоящее время (Шиятов, 1983; Фомин, 2009; Моисеев и др., 2016). Уязвимость реликтовых видов лесной группы будет зависеть от скорости распространения широколиственных древесных видов в горах и темпов смены доминирования хвойных пород на широколиственные виды в хвойно-широколиственных лесах в Предуралье. В связи с длительностью жизненного цикла древесных видов эти процессы могут несколько отставать от скорости изменения климата, но их ускорению может способствовать лесохозяйственная деятельность (Fedorov et al., 2021). Увеличение засушливости климата и частоты засух (Второй оценочный доклад ..., 2014) неизбежно повлияет на группу болотных и лугово-болотных видов вследствие снижения уровня

болотных вод. При этом редкие виды этой группы будут обладать большей устойчивостью в горно-лесной и лесной зонах (Baisheva et al., 2020). Климатические изменения могут быть благоприятными для не использовавшегося при моделировании вида *Paeonia hybrida* (степная группа). Эти изменения также могут быть благоприятными для *Gentiana decumbens* и *Allium humenorhizum* (группа пойменных видов на солонцеватых почвах), так как засоление почв при увеличении аридности климата в Зауралье будет возрастать. Два вида горно-лесной группы – *Melilotoides platycarpus* и *Pentaphylloides fruticosa* потенциально устойчивы к прогнозируемым климатическим изменениям. Вид *M. platycarpus* произрастает на ЮУ в хвойно-широколиственных и березовых лесах, распространение которых будет увеличиваться за счет внедрения широколиственных видов в сосново-березовые леса, а *P. fruticosa* имеет очень широкую экологическую амплитуду и на ЮУ произрастает не только в лесах, но и в каменистых степях.

Таким образом, климатические изменения могут существенно повлиять на пригодность условий местообитания для ряда редких реликтовых видов плейстоценового комплекса, и для некоторых из них могут потребоваться дополнительные меры охраны.

Глава 6. ИЗМЕНЕНИЕ МЕР ОХРАНЫ РЕДКИХ РЕЛИКТОВЫХ ВИДОВ ПЛЕЙСТОЦЕНОВОГО КОМПЛЕКСА

6.1 Охват редких реликтовых видов плейстоценового комплекса современной системой ООПТ

При организации природоохранных мер наибольшего внимания требуют редкие виды, представленные на территории ЮУ менее чем 10 известными локалитетами. Из таких видов на территориях ООПТ не встречаются только три вида – *Betula nana*, *Allium microdictyon* и *Dianthus repens* (табл. 6.1). Единственное местообитание *B. nana* находится на Сикиязском болоте, которое намечено для организации памятника природы (Баишева и др., 2015). На этом болоте выявлен также реликтовый вид плейстоценового комплекса *Pinguicula vulgaris* и встречаются еще девять видов, занесенных в Красную книгу РБ, но не являющихся плейстоценовыми реликтами, а именно *Dactylorhiza ochroleuca* (Wüsth. ex Boll.) Holub, *Dactylorhiza russowii* (Klinge) Holub, *Herminium monorchis* (L.) R. Br., *Pedicularis sceptrum-carolinum* L., *Epipactis palustris* (L.) Crantz, *Listera ovata* (L.) R. Br., *Carex dioica* L., *Eriophorum gracile* Koch, *Malaxis monophyllos* (L.) Sw. (Красная книга ..., 2021). Один из локалитетов *D. repens* находится на северных отрогах хребта Нурали, где также кроме него в пределах 500 м встречаются еще несколько редких реликтовых видов плейстоценового комплекса: *Scorzonera glabra*, *Patrinia sibirica*, *Minuartia uralensis*, *Linaria debilis*, *Gentianopsis barbata* и *Artemisia bargusiniensis*, что в перспективе может позволить создать новую ООПТ. *A. microdictyon* не произрастает в комплексе или вблизи с другими редкими видами.

Таблица 6.1 – Количество местонахождений редких видов плейстоценового комплекса на территории Республики Башкортостан, в том числе на ООПТ региона

Вид	Количество местонахождений на территории Республики Башкортостан, шт.	
	Всего	На территориях ООПТ
Виды, локалитеты которых не входят на территории ООПТ в РБ		
<i>Betula nana</i>	1	0
<i>Dianthus repens</i>	2	0
<i>Allium microdictyon</i>	5	0
Виды, недостаточно представленные на территориях ООПТ в РБ		
<i>Paeonia hybrida</i>	3	1
<i>Potentilla gelida</i>	3	1
<i>Ophrys insectifera</i>	5	1
<i>Gentiana decumbens</i>	10	1
<i>Helianthemum nummularium</i>	11	1
<i>Cardamine trifida</i>	13	1
Виды, достаточно представленные на территориях ООПТ или не требующие охраны в системе ООПТ		
<i>Koeleria ledebourii</i>	1	1
<i>Oxytropis sordida</i>	1	1
<i>Thalictrum alpinum</i>	1	1
<i>Schizachne callosa</i>	1	1
<i>Delphinium uralense</i>	56	1
<i>Juncus castaneus</i>	2	2
<i>Potentilla nivea</i>	2	2
<i>Silene paucifolia</i>	2	2
<i>Minuartia uralensis</i>	3	2
<i>Salix arbuscula</i>	3	2
<i>Artemisia bargusinensis</i>	4	2
<i>Vicia multicaulis</i>	7	2
<i>Pentaphylloides fruticosa</i>	7	2

<i>Orostachys thyrsiflora</i>	9	2
<i>Melilotoides platycarpus</i>	10	2
<i>Potentilla arenosa</i>	16	2
<i>Linaria uralensis</i>	40	2
<i>Dryas subincisa</i>	3	3
<i>Arctous alpina</i>	3	3
<i>Salix arctica</i>	3	3
<i>Allium hymenorhizum</i>	10	3
<i>Potentilla agrimonioides</i>	12	3
<i>Pedicularis oederi</i>	4	4
<i>Gentianopsis barbata</i>	24	4
<i>Carex aterrima</i>	5	5
<i>Lloydia serotina</i>	5	5
<i>Androsace lehmanniana</i>	6	6
<i>Carex serotina</i>	11	7
<i>Pinguicula vulgaris</i>	11	8
<i>Allium obliquum</i>	39	8
<i>Scorzonera glabra</i>	19	11
<i>Linaria debilis</i>	49	11
<i>Phlox sibirica</i>	40	13
<i>Patrinia sibirica</i>	50	19
<i>Zigadenus sibiricus</i>	79	21
<i>Schoenus ferrugineus</i>	74	46

К недостаточно представленным видам на территориях ООПТ, которые имеют меньше 15 точек местонахождений на территории РБ, можно также отнести *Cardamine trifida*, *Gentiana decumbens*, *Vicia multicaulis*, *Ophrys insectifera*, *Paeonia hybrida*, *Helianthemum nummularium*, *Potentilla gelida* и *Artemisia bargusinensis*. Один из редко представленных на территории ООПТ видов – *Cardamine trifida*. Его единственное местонахождение на территории

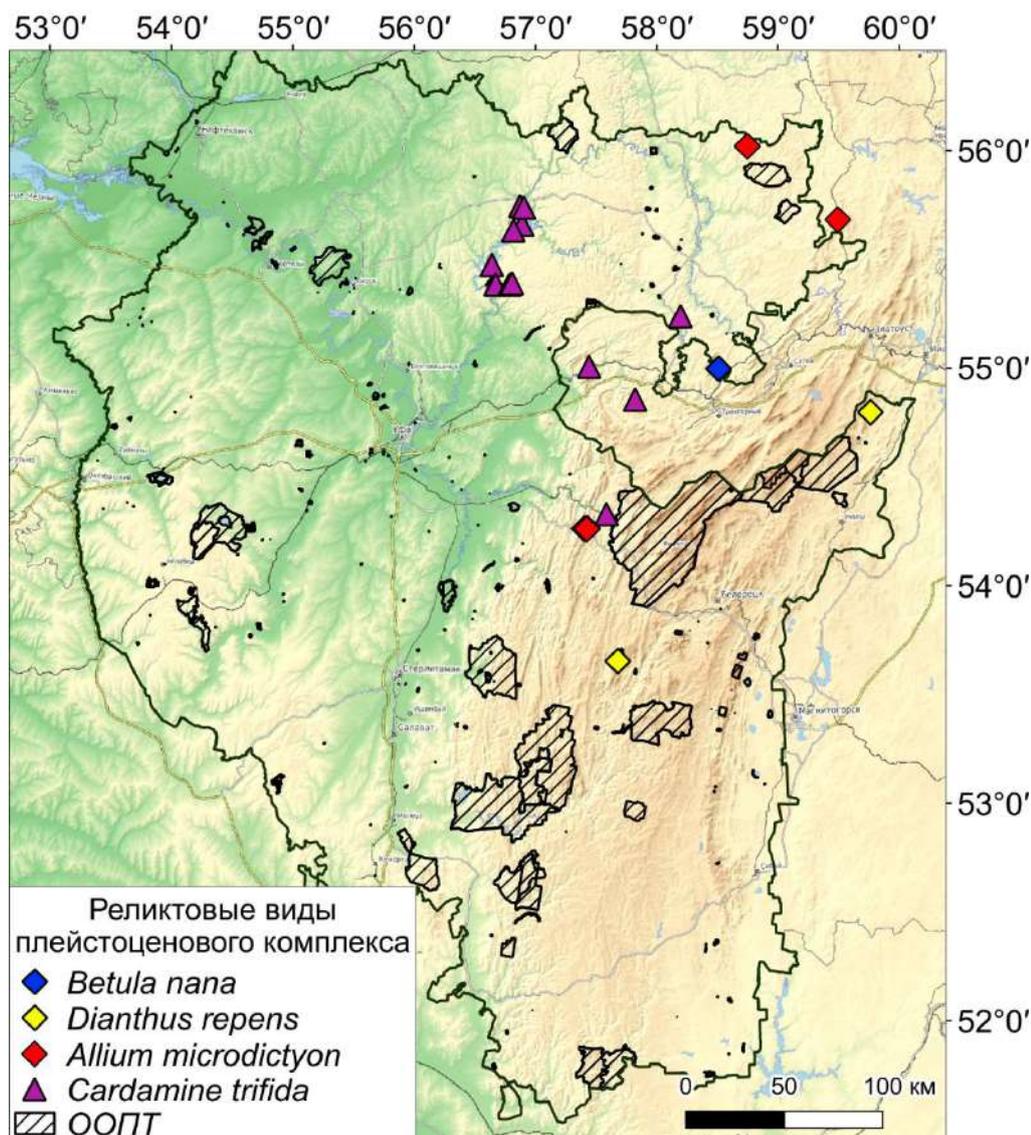


Рисунок 6.1 – Распространение редких реликтовых видов плейстоценового комплекса, недостаточно представленных на ООПТ Республики Башкортостан.

ООПТ было отмечено только на территории Южно-Уральского государственного заповедника. Однако три точки этого вида находятся на границе гидрологического памятника природы «Реки Яманьелга и Сарва и их окрестности». В пределах территории этого памятника встречаются также виды, занесенные в Красную книгу РБ (2021) – *Huperzia selago* (L.) Bernh. ex Schrank et C. Mart., *Orchis mascula* (L.) L., *Cypripedium guttatum* Sw. В связи с этим можно рекомендовать перевод гидрологического памятника в комплексный памятник природы (рис. 6.1). Один локалитет вида *Potentilla*

gelida находится на горе Большой Нургуш в Челябинской области, где также встречаются плейстоценовые реликты *Salix arbuscula* и *Arctous alpina*. Еще два вида – *Helianthemum nummularium* и *Gentiana decumbens* – в границах ООПТ имеют только по одному локалитету (табл. 6.1). В связи с этим необходим поиск новых местообитаний этих видов, которые могли бы стать основой при организации новых ботанических и комплексных памятников природы (рис. 6.1).

6.2 Изменение мер охраны редких видов при прогнозируемом изменении климата

Изменение климата потребует изменений мер охраны редких видов (Hannah et al., 2007; Araújo et al., 2011; Fedorov et al., 2020 и др.). Как было показано на примере модельных видов, наиболее неустойчивыми к изменению климата являются группы лесных, болотных и лугово-болотных видов, причем в последней группе наиболее уязвимы виды *S. ferrugineus* и *G. barbata*, пригодные условия местообитания которых при сильном изменении климата на территории ЮУ могут исчезнуть полностью. Для сохранения видов *S. ferrugineus* и *G. barbata* необходимо поддержание гидрологического режима наиболее ценных по разнообразию редких видов болот-памятников природы в Месягутовской лесостепи (Аркауловского, Озерского, Черношарского). Вместе с *S. ferrugineus* на этих болотах произрастает ряд видов-реликтов плейстоценового комплекса: *Carex serotina*, *Ophrys insectifera*, *Pinguicula vulgaris* и *Betula nana*. Для лесного вида *Z. sibiricus* при сильном изменении климата может понадобиться реинтродукция в более пригодные местообитания. Потенциальные местообитания для реинтродукции популяций подобраны в центральной части и на восточном макросклоне ЮУ.

При умеренном изменении климата для *P. sibirica* не потребуются какие-либо дополнительные мероприятия по сохранению этого вида на ЮУ, в то время как в случае реализации сильного изменения климата будет необходима

реинтродукция растений из некоторых горно-лесостепных популяций в более пригодные для этого вида местообитания, которые сохранятся в возвышенных частях ЮУ. Сохранность других высокогорных видов будет зависеть от скорости изменения верхней границы распространения леса в горах. Климатические изменения не потребуют дополнительных мер охраны для лугово-опушечного вида *Allium obliquum*, а также проанализированных горно-лесостепных видов – *Linaria uralensis* и *Delphinium uralense*.

Локалитеты редких видов плейстоценового комплекса с предполагаемым быстрым изменением их условий произрастания могут быть использованы для мониторинга климатических изменений. Исчезновение в этих местообитаниях редких видов будет означать, что изменение климата вышло за пределы его флюктуации в голоцене.

ВЫВОДЫ

1. В Республике Башкортостан произрастают 45 редких реликтовых видов плейстоценового комплекса, которые по региональной эколого-ценотической приуроченности на территории Южного Урала в настоящее время объединены в 8 групп (высокогорные, горно-лесные, лесные, горно-лесостепные, степные, пойменные луговые на солонцеватых почвах, лугово-опушечные, а также группа болотных и лугово-болотных), что позволяет аппроксимировать результаты моделирования на экологически близкие виды. Наибольшее видовое разнообразие отмечается в группе высокогорных реликтов в связи с большим разнообразием условий местообитаний выше границы распространения леса, а наибольшее количество известных локалитетов – у видов горно-лесостепной группы вследствие большего распространения петрофитных степей.

2. Потенциальные ареалы у всех модельных реликтовых видов на Южном Урале шире их реального распространения, что связано с историей формирования растительности региона, в том числе антропогенными факторами, влияющими на растительные сообщества – местообитания этих видов: вырубкой хвойных лесов в Предуралье и на западном макросклоне Южного Урала, осушением болот, интенсивным выпасом скота и сбором растений населением.

3. При проведении моделирования влияния умеренных (RCP4.5) и сильных (RCP8.5) климатических изменений на пригодность условий местообитания редких реликтовых видов плейстоценового комплекса на Южном Урале установлено, что устойчивость видов рассмотренных эколого-ценотических групп зависит от широты их экологических амплитуд и изменения распространения растительных сообществ, являющихся их основными местообитаниями. Выявлены два типа изменения пригодности условий местообитания при изменении климата: снижение (*Patrinia sibirica*, *Schoenus ferrugineus*, *Gentianopsis barbata* и *Zigadenus sibiricus*) и возрастание с последующим снижением при длительном влиянии климатических изменений до уровня ниже или выше современного распространения (*Linaria uralensis*, *Delphinium uralense* и *Allium obliquum*).

4. Низкая устойчивость к климатическим изменениям видов *S. ferrugineus* и *G. barbata* связана с ожидаемым увеличением летних температур при снижении

количества летних осадков на большей территории Южного Урала, снижением уровня болотных вод, а у *Z. sibiricus* и *P. sibirica* – с расширением границ распространения лесных сообществ, в которых эти виды не произрастают. Основная причина улучшения условий произрастания в краткосрочной перспективе при умеренном изменении климата у видов *L. uralensis*, *D. uralense* и *A. obliquum* связана с увеличением засушливости климата и формированием новых местообитаний с благоприятными условиями произрастания.

5. Анализ изменения пригодности условий местообитания в известных локалитетах неустойчивых к изменению климата редких видов позволяет выявить приоритеты охраны отдельных местообитаний и откорректировать меры охраны этих видов. Изученные модельные виды могут быть использованы при мониторинге текущих климатических изменений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдрахманов, Р.Ф. Гидрогеоэкология Башкортостана / Р. Ф. Абдрахманов – Уфа: Информреклама, 2005. – 344 с.
2. Абдрахманов, Р.Ф. Атлас Республики Башкортостан / Р.Ф. Абдрахманов [и др.]; отв. ред. И.М. Япаров. – Уфа: Китап, 2005. – 419 с.
3. Абдуллина, Л.А. Интродукция некоторых редких лекарственных растений в Уфимском ботаническом саду / Л.А. Абдуллина // Биологическое разнообразие растительного мира Урала и сопредельных территорий: материалы Всероссийской конференции с международным участием. – 2012. – С. 181-182.
4. Аверьянов, Л.В. *Ophrys insectifera* L. / Л.В. Аверьянов //Красная книга Красная книга Российской Федерации (растения и грибы) / ред. Л.В. Бардунов, В.С. Новиков. – М.: Тов-во науч. изд-ий КМК, 2008. – С. 395–396.
5. Агроклиматические ресурсы Башкирской АССР: Справ. / Подгот.: Г.С. Халевичкая, М.И. Бабкина, В.В. Кузнецова и др.; Гл. Упр. Гидрометеорол. службы при Свете Министров СССР, Уральск. упр. гидрометеорол. службы, Свердл. гид. – Л.: Гидрометеиздат, 1976. – 235 с.
6. Андреева, Е.Б. Лук косой. / Е.Б. Андреева //Красная книга Красноярского края. В 2 т. Т. 2: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений и грибов / Отв. ред. Н.В. Степанов; 2- изд., перераб. и доп.; Сибирский фед. ун-т. – Красноярск, 2012. – С. 572.
7. Амельченко, В.П. Лук косой. / В.П. Амельченко // Красная книга Томской области. Изд. 2-е, перераб. и доп. – Томск: Изд-во «Печатная мануфактура», 2013. – С. 504.
8. Бабилов, Б.В. Болота в лесах России и их использование / Б.В. Бабилов, //Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2014. – № 6. – С. 9-19.
9. Баишева, Э.З. Болота Республики Башкортостан как объект первостепенной охраны / Э.З. Баишева [и др.] //Вестник Академии наук

Республики Башкортостан. – 2015. – Т. 20, № 3. – С. 5-13.

10. Баландин, С.В. Зигаденус сибирский. / С.В. Баландин //Красная книга Пермского края / Отв. ред. М.А. Бакланов. – Пермь: Изд-во «Алдари», 2018. – С. 230.

11. Барталев С.А. Возможности исследований влияния изменений климата на состояние растительного покрова: концепция проекта CLIVT / С.А. Барталев [и др.] //Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. – 2008. – Т. 5, № 2. – С. 272-278.

12. Беркутенко, А.Н. ООПТ Магаданской области: современное состояние и перспективы. / А.Н. Беркутенко //Сохранение биоразнообразия Камчатки и прилегающих морей. Материалы XIII международной научной конференции, посвященной 75-летию со дня рождения известного отечественного специалиста в области лесоведения, ботаники и экологии д.б.н. С.А. Дыренкова. – 2012. – С. 21–28.

13. Благовещенский, Г.А. История лесов восточного склона Среднего Урала / Г.А. Благовещенский //Советская ботаника. – 1943. – № 6. – С. 3–16.

14. Борисова, А.Г. Сем. Crassulaceae DC. / А.Г. Борисова //Флора СССР. Т. XVIII / Коллектив авторов; отв. ред. В.Л. Комаров и ред. тома С.В. Юзепчук. – Л.: изд-во Академии наук СССР, 1939. – С. 346.

15. Брэдис, Е.М. Торфові болота Месягутівського лісостепу (Башкирія) / Е.М. Брэдис // Ботан. журн. АН УРСР. 1946. – Т. 3, № 3–4. – С. 44–58.

16. Брэдис, Е.М. Торфяные болота Башкирии. дис. ... д-ра биол. наук. / Е.М. Брэдис. – Киев, 1951. – 31 с.

17. Буш, Е.А. Сем. Ericaceae DC. / Е.А. Буш, А.И. Пояркова //Флора СССР. Т. XVIII /Коллектив авторов; ред. тома Б.К. Шишкин. – Л.: изд-во Академии наук СССР, 1953. – С. 779.

18. Валентини, Р. Изменение климата в России: прошлое, настоящее и будущее. / Р. Валентини //Леса России и изменение климата. Что нам может сказать наука 11 / Р. Валентини [и др.] / П. Лескинен [и др.] (ред.). – Европейский институт леса. – 2020. – Р. 45-52.

19. Васильев, В.Н. Сем. Polemoniaceae Vent. / В.Н. Васильев //Флора СССР. Т. XIX / Коллектив авторов; отв. ред. и ред. тома Б.К. Шишкин и Е.Г. Бобров. – Л.: изд-во Академии наук СССР, 1953. – С. 77–292.
20. Введенский, А.И. Род *Allium* L. / А.И. Введенский //Флора СССР. Т. IV / Коллектив авторов; отв. ред. и ред. тома В.Л. Комаров. – Л.: изд-во Академии наук СССР, 1935. – С.112–130.
21. Введенский, А.И. Род *Pedicularis* L. / А.И. Введенский //Флора СССР. Т. XXII / Коллектив авторов; отв. ред. и ред. тома Б.К. Шишкин и Е.Г. Бобров. – Л.: изд-во Академии наук СССР, 1955. – С. 254–269.
22. Второй оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации / Г.В. Алексеев [и др.]; редакционная группа: В.В. Ясюкевич, В.А. Говоркова, И.А. Корнева, Т.В. Павлова, Е.Н. Попова – Росгидромет, 2014. – 1009 с.
23. Галеева, Э.М. Пространственная изменчивость жесткости речных вод на территории Республики Башкортостан / Э.М. Галеева, Д.А. Байтуков //Астраханский вестник экологического образования. – 2020. – № 2. – С. 43-49.
24. Герасимова, М.И. География почв России / М.И. Герасимова. – М.: Изд-во МГУ, 2007. – 312 с.
25. Голованов, Я.М. К изучению редкого компонента флоры г. Туратка (Республика Башкортостан) / Я.М. Голованов, Е.В. Карпова //Экология и география растений и растительных сообществ. Екатеринбург, 2018. – 2018. – С. 185-189.
26. Голубчиков, Ю.Н. География горных и полярных стран / Ю.Н. Голубчиков //М.: Изд-во МГУ, 1996. – Т. 199. – С. 304.
27. Гончаров, Н.Ф. Род *Koeleria* Pers. / Н.Ф. Гончаров //Флора СССР. Т. II / Коллектив авторов; отв. ред. В.Л. Комаров, ред. тома Р.Ю. Рожевиц и Б.К. Шишкин. – Л.: изд-во Академии наук СССР, 1934. – 779 с.
28. Гордиенко, Н.С. Современные тенденции изменений климата и биоты на Южном Урале / Н.С. Гордиенко //Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 2017. – Т. 28, № 5. – С. 87-99.

- 29.** Горчаковский, П.Л. История развития растительности Урала / П.Л. Горчаковский – Свердловск, 1953. – 144 с.
- 30.** Горчаковский, П.Л. История растительности Урала в плейстоцене и голоцене в свете изучения реликтовых элементов флоры / П.Л. Горчаковский // Делегатский съезд всесоюзного ботанического общества. – 1957. – С. 11-14.
- 31.** Горчаковский, П.Л. Эндемичные и реликтовые элементы во флоре Урала и их происхождение / П.Л. Горчаковский // Материалы по истории флоры и растительности СССР. – 1963. – С. 285-375.
- 32.** Горчаковский, П.Л. Растения европейских широколиственных лесов на восточном пределе их ареала / П.Л. Горчаковский // Тр. ин-та экологии растений и животных Уральского филиала АН СССР. – Свердловск, 1968. – Вып. 59. – 207 с.
- 33.** Горчаковский, П.Л. Основные проблемы исторической фитогеографии Урала / П.Л. Горчаковский // Тр. ин-та экологии растений и животных Уральского филиала АН СССР. – Свердловск, 1969 – 290 с.
- 34.** Горчаковский, П.Л. Растительный мир высокогорного Урала / П.Л. Горчаковский. – М.: Наука, 1975. – 283 с.
- 35.** Горчаковский, П.Л. Редкие и исчезающие растения Урала и Приуралья / П.Л. Горчаковский, Е.А. Шурова. – М.: Наука, 1982. – 208 с.
- 36.** Горчаковский, П.Л. Растительность и ботанико-географическое деление Башкирской АССР / П.Л. Горчаковский // Определитель высших растений Башкирскоц АССР. – М.: Наука, 1988. – С. 5–13.
- 37.** Григорьев, А.А. Продвижение древесно-кустарниковой растительности в горы и изменение состава тундровых сообществ (хр. Зигальга, Южный Урал) / А.А. Григорьев, О.В. Ерохина, С.Ю. Соковнина, Ю.В. Шалаумова., Д.С. Балакин // Журнал Сибирского федерального университета. Биология. – 2018. – Т. 11, № 3 – С. 215–236.
- 38.** Гроссет, Г.Э. Возраст термофильной реликтовой флоры широколиственных лесов Русской равнины, Южного Урала и Сибири в связи с палеогеографией плейстоцена и голоцена / Г.Э. Гроссет // Бюл. МОИП. Отд.

биол. – 1962. – Т. 67, № 3. – С. 94-109.

39. Гроссгейм, А.А. Род *Trigonella* L. / А.А. Гроссгейм // Флора СССР. Т. XI / Коллектив авторов; отв. ред. и ред. тома Б.К. Шишкин, Е.Г. Бобров. – Л.: изд-во Академии наук СССР, 1945. – С. 102-110.

40. Гроссгейм, А.А. Сем. *Gentianaceae* Dumort. / А.А. Гроссгейм // Флора СССР. Т. XXVIII / Коллектив авторов; отв. ред. и ред. тома Б.К. Шишкин, Е.Г. Бобров. – Л.: изд-во Академии наук СССР, 1952. – С. 538–595.

41. Гуленок, Г.Е. Торфяные месторождения Башкирской АССР. / Г.Е. Гуленок, Ю.А. Ильичева, В.П. Кислова, В.Г. Кузьмичева, Е.К. Серова. – Справк. М.: Мин-во геологии СССР, 1989. – 321 с.

42. Дерягин, В.В. Динамика озерных систем Южного Урала в голоцене / В.В. Дерягин, Т.В. Сапелко, В.И. Хомутова // Динамика экосистем в голоцене: Материалы Второй Российской научной конференции. – Екатеринбург; Челябинск: Рифей, 2010. – С. 46-51.

43. Дудов, С.В. Аннотированный список сосудистых растений Юго-Западного Джугджура в верховьях рек Учур, Джана и Маймакан (Хабаровский край) / С.В. Дудов // *Turczaninowia*. – 2011. – Т. 14, № 4. – С. 59-71.

44. Дудов, С.В. Моделирование распространения видов по данным рельефа и дистанционного зондирования на примере сосудистых растений нижнего горного пояса хр. Тукурингра (Зейский заповедник, Амурская область) / С.В. Дудов // Журн. общ. Биологии. – 2016. – Т. 77, № 2. – С. 122–134.

45. Ермаков, Н.Б. Анализ состава ценофлор континентальных гемибореальных лесов Северной Азии / Н.Б. Ермаков // *Turczaninowia*. – 2006. – Т. 9. – № 4. – С. 5–92.

46. Жучкова, В.К. Методы комплексных физико-географических исследований / В.К. Жучкова, Э.М. Раковская / Учебное пособие для студентов ВУЗов. — М.: Академия, 2004. — 368 с.

47. Зайцева, Н.В. Видовое разнообразие растительных сообществ гольца Эвота (по материалам исследований 2010-2013 г.) / Н.В. Зайцева // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. – 2014. –

Т. 11. – № 4. – С. 13-20.

48. Ивченко, Т.Г. Редкие болотные сообщества с *Schoenus ferrugineus* на Южном Урале (Челябинская область) / Т.Г. Ивченко // Ботанический журнал. – 2012. – Т. 97, № 6. – С. 783-790.

49. Ивченко, Т.Г. Находки редких видов сосудистых растений на болотах Южного Урала (Челябинская область) / Т.Г. Ивченко, П.В. Куликов. // Ботанический журнал. – 2013. – Т. 98, № 3. – С. 371-382.

50. Ивченко Т.Г., Экологическая структура растительных сообществ ключевых болот горно-таежного пояса Южного Урала / Т.Г. Ивченко, С.Р. Знаменский // Экология. – 2016. – № 5. – С. 346-352.

51. Игошина, К.Н. Растительность Урала / К.Н. Игошина // Труды БИН АН СССР. – 1964. – С. 83-230.

52. Ильин, М.М. К реликтовой флоре южного Урала / М.М. Ильин // Изв. Главн. бот. сада. – 1922. – Т. 21, № 1. – С. 54-66.

53. Ильина, В.Н. Лук косой. / В.Н. Ильина // Красная книга Самарской области. Т. 1. Редкие виды растений и грибов / В.Н. Ильина, Н.С. Ильина, Т.И. Плаксина. Под ред. С.А. Сенатора и С.В. Саксонова. – Самара: Издательство Самарской государственной областной академии (Наяновой), 2017. – С. 284.

54. Ильинская, И.А. Род *Patrinia* Juss. / И.А. Ильинская // Флора СССР. Т. XXIII / Коллектив авторов; отв. ред. и ред. тома Б. К. Шишкин. – Л.: изд-во Академии наук СССР, 1958. – С. 587–593.

55. Ишбирдин, А.Р. Растительность горного массива Ирмель: синтаксономия и вопросы охраны / А.Р. Ишбирдин, Р.Ю. Муллагулов, С.И. Янтурин. – Уфа, 1996. – 109 с.

56. Ишбирдина, Л.М. Кариологический анализ видов рода *Delphinium* (Ranunculaceae) на Южном Урале / Л.М. Ишбирдина, Н.И. Федоров // Ботан. Журн. – 2003. – Т. 88, № 8. – С. 8–19.

57. Ишбирдина, Л.М. Географический и фитоценотический ареалы эндемика Южного Урала *Delphinium uralense* Nevski / Л.М. Ишбирдина, Н.И. Федоров, А.А. Мулдашев // Растительность России. – 2016. – № 28. – С. 37–54.

- 58.** Кадильников, И.П. Условия почвообразования на территории Башкирии и его провинциальные черты / И.П. Кадильников, С.Н. Тайчинов // Почвы Башкирии. – Уфа, 1973. – Т. 1. – С. 7–15.
- 59.** Князев, М.С. Критические заметки о некоторых видах рода *Linaria* L.(Scrophulariaceae) на Урале, в Казахстане и Западной Сибири / М.С. Князев // Новости систематики высших растений. – 2003. – Т. 35. – С. 156–169.
- 60.** Князев, М.С. Реликтовые фрагменты лесостепи в Зауралье / М.С. Князев, Н.В. Золотарёва, Е.Н. Подгаевская // Ботанический журнал. – 2012. – Т. 97, № 10. – С. 1276–1292.
- 61.** Князев, М.С. Лук косой / М.С. Князев, В.В. Меркер // Красная книга Челябинской области: Животные, растения, грибы / Отв. ред. А.В. Лагунов. – М.: Реарт, 2017. – С. 504.
- 62.** Князев, М.С. Льянка уральская (Л. Алтайская) / М.С. Князев // Красная книга Челябинской области: Животные, растения, грибы / Отв. ред. А.В. Лагунов. – М.: Реарт, 2017. – С. 377.
- 63.** Князев, М.С. Схенус ржавый / М.С. Князев // Красная книга Челябинской области: Животные, растения, грибы / Отв. ред. А.В. Лагунов. – М.: Реарт, 2017. – С. 238.
- 64.** Князев, М.С. Зигаденус сибирский / М.С. Князев // Красная книга Свердловской области: животные, растения, грибы / Отв. Ред. Н.С. Корытин. – Екатеринбург: ООО «МИР», 2018. – С. 450.
- 65.** Кожин, М.Н. Схенус ржавый. / М.Н. Кожин // Красная книга Мурманской области. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Отв. ред. Н.А. Константинова, А.С. Корякин, О.А. Макарова, В.В. Бианки. – Кемерово: Азия-принт, 2014. – С. 584.
- 66.** Кожин, М.Н. Редкие виды сосудистых растений и растительные сообщества минеротрофного болота между Кандалакшей и Колвицей (Мурманская область) / М.Н. Кожин // Труды Карельского научного центра Российской академии наук. – 2015. – № 4. – С. 48-64.
- 67.** Колесникова, Т.Д. Четвертичные флоры Башкирии / Т.Д. Колесникова // Ботанический журнал. – 1957. – Т. 42, № 6. – С. 878-888.

68. Колонтаева, Н.В. Живокость уральская / Н.В. Колонтаева //Красная книга Оренбургской области: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных, растений и грибов: официальное издание /Министерство природных ресурсов, экологии и имущественных отношений Оренбургской области, Оренбургский государственный педагогический университет, Институт степи Уральского отделения Российской академии наук. – Воронеж: ООО «МИР», 2019. – С. 488.
69. Колонтаева, Н.В. Льянка уральская (Л. алтайская) / Н.В. Колонтаева //Красная книга Оренбургской области: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных, растений и грибов: официальное издание /Министерство природных ресурсов, экологии и имущественных отношений Оренбургской области, Оренбургский государственный педагогический университет, Институт степи Уральского отделения Российской академии наук. – Воронеж: ООО «МИР», 2019. – С. 377.
70. Комаревцева, Е.К. Эколого-ценотическая характеристика *Pentaphylloides fruticosa* (L) O. Schwarz в Горном Алтае / Е.К. Комаревцева // Сибирский ботанический вестник. – 2007. – Т. 2, № 2. – С. 97100.
71. Комаров, В.Л. Род *Lloydia* Salisb. / В.Л. Комаров //Флора СССР. Т. IV / Коллектив авторов; отв. ред. и ред. тома В.Л. Комаров. – Л.: изд-во Академии наук СССР, 1935. – С. 365–369.
72. Конечная, Г.Ю. Схенус ржавый / Г.Ю. Конечная //Красная книга Новгородской области / Отв. ред. Ю.Е. Веткин, Д.В. Гельтман, Е.М. Литвинова, Г.Ю. Конечная, А.Л. Мищенко. – Спб: «Дитон», 2015. – 480 с.
73. Коржинский, С.И. Следы древней растительности на Урале / С.И. Коржинский //Изв. Имп. Акад. на-ук. Сер. 5. – 1894. – Т. 1, вып. 1. – С. 21–31.
74. Котов, М.И. Новый вид *Linaria uralensis* Kotov з Швденного Уралу / М.И. Котов // Боташчний журнал АН УРСР. – Т. 3, № 3. – 1946. – С. 26–27.
75. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы) / ред. Л.В. Бардунов, В.С. Новиков. – М.: Тов-во науч. изд-ий КМК, 2008. – 885 с.
76. Красная книга Челябинской области. Животные. Растения. Грибы /Отв.

ред. А.В. Лагунов – М.: ООО "Реарт", 2017. – 504 с.

77. Красная книга Республики Башкортостан: в 2 т. Т. 1: Растения и грибы / под ред. д-ра биол. наук В. Б. Мартыненко. 3-е изд., доп. и переработ. Москва: Студия онлайн, 2021. – 392 с.

78. Красноборов, И.М. *Paeonia hybrida* Pall. / И.М. Красноборов // Красная книга Российской Федерации (растения и грибы) / ред. Л.В. Бардунов, В.С. Новиков. – М.: Тов-во науч. изд-ий КМК, 2008. – С. 423–424.

79. Крашенинников, И.М. Анализ реликтовой флоры Южного Урала в связи с историей растительности и палеографией плейстоцена / И.М. Крашенинников // Сов. Ботаника. – 1937. – № 4. – С.16–46.

80. Крашенинников, И.М. Основные пути развития растительности Южного Урала в связи с палеографией северной Евразии в плейстоцене и голоцене / И.М. Крашенинников // Сов. Ботаника. – 1939. – № 6-7. – С.67–99.

81. Крашенинников, И.М. Растительность Башкирской АССР. / И.М. Крашенинников, С.Е. Кучеровская-Рожанец. – М.: изд-во АН СССР, 1941. – 154 с.

82. Кречетович, В.И. Сем. Juncaceae Vent. / В.И. Кречетович, Н.Ф. Гончаров // Флора СССР. Т. III / Коллектив авторов; отв. ред. В.Л. Комаров, ред. тома Б. К. Шишкин. – Л.: изд-во Академии наук СССР, 1935. – С. 504–597.

83. Кречетович, В.И. Род Carex L. / В.И. Кречетович // Флора СССР. Т. III / Коллектив авторов; отв. ред. В.Л. Комаров, ред. тома Б.К. Шишкин. – Л.: изд-во Академии наук СССР, 1935. – С. 111–464.

84. КС-26: Климатический пакт Глазго. – 2021. – 27 с. – URL: <https://ukcop26.org/wp-content/uploads/2022/03/RUS-COP26-Presidency-Outcomes-The-Climate-Pact.pdf> (дата посещения: 20.03. 2022).

85. Куликов, П.В. О реликтовом характере фитоценозов известковых болот Южного Урала и распространении некоторых характерных для них редких видов / П. В. Куликов, Е. Г. Филиппов // Бюл. МОИП. Отд. Биол. 1997. – Т. 102. – Вып. 3. – С. 54–57.

86. Куликов, П.В. Конспект флоры Челябинской области (сосудистые

растения) / П.В. Куликов. – Екатеринбург-Миасс, 2005. – 537 с.

87. Куликов П.В. Ботанико-географические районы и флористические границы в лесостепном и степном Зауралье. / П.В. Куликов // Степи и лесостепи Зауралья: материалы к исследованиям: тр. музея-заповедника. «Аркаим» / отв. ред. Ф.Н. Петров. – Челябинск: Крокос, 2006. – 190 с.

88. Кузенева, О.И. Род *Betula* L. / О.И. Кузенева // Флора СССР. Т. V / Коллектив авторов; отв. ред. и ред. тома В. Л. Комаров. – Л.: изд-во Академии наук СССР, 1936. – С. 269–356.

89. Кузенева, О.И. Род *Zygadenus* Rich. / О.И. Кузенева // Флора СССР. Т. IV / Коллектив авторов; отв. ред. и ред. тома В.Л. Комаров. – Л.: изд-во Академии наук СССР, 1935. – С. 9.

90. Кузнецов, О.Л. Схенус ржавый / О.Л. Кузнецов // Красная книга Республики Карелия / ред. тома Э.В. Ивантер, О.Л. Кузнецов. – Петрозаводск: Карелия, 2007. – С. 27.

91. Куликова, Л.В. Потенциальный биоклиматический ареал *Calophaca wolgarica* (l. fl.) DC в связи с выбором мест для его реинтродукции в Саратовскую область / Л.В. Куликова, Н.А. Петрова, А.С. Кашин // Бюллетень Ботанического сада Саратовского государственного университета. – 2018. – Т. 16, № 4. – С. 38-48.

92. Куприянова, Л.А. Систематический обзор льнянок СССР / Л.А. Куприянова // Тр. Бот. ин-та им. В.Л. Комарова АН СССР. – Вып. 9. – 1950. – С. 38–70.

93. Куприянова, Л.А. Род *Linaria* Mill. / Л.А. Куприянова, // Флора СССР. Т. XXII / Коллектив авторов; отв. ред. и ред. тома Б.К. Шишкин и Е.Г. Бобров. – Л.: изд-во Академии наук СССР, 1955. – С. 178–238 с.

94. Ленская, О.Ю. Особенности текущих климатических изменений в регионе Южного Урала / О.Ю. Ленская, М.Г. Ботова // Вестник Челябинского государственного университета. – 2011. – № 5. – С. 44–49.

95. Липшиц, С.Ю. Род *Scorzonera* L. / С.Ю. Липшиц // Флора СССР. Т. XXIX / Коллектив авторов; отв. ред. и ред. тома Е.Г. Бобров и Н.Н. Цвелев. – Л.: изд-

во Академии наук СССР, 1964. – С. 27–102.

96. Малышев, Л.И. Род *Carex* L. – Осока. / Л.И. Малышев // Флора Сибири Т. III / Сост. Л.И. Малышев, С.А. Тимохина, С.В. Бубнова и др. – Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 1990. – С. 111–464.

97. Маркова, А.К. Эволюция экосистем Европы при переходе от плейстоцена к голоцену (24-8 тыс. л. н.). / А.К. Маркова [и др.]. – М.: ООО Товарищество научных изданий КМК, 2008. – 556 с.

98. Мартыненко, В.Б. О системе критериев оценки растительных сообществ для разработки региональной Зеленой книги / В.Б. Мартыненко, Э.З. Баишева, Б.М. Миркин, П.С. Широких, А.А. Мулдашев // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т. 15, № 3-4. – С. 1364-1367.

99. Маслова, Н.В. Патриния сибирская / Н. В. Маслова, Л. М. Абрамова // Красная книга Республики Башкортостан: Т. 1: Растения и грибы / под ред. В.Б. Мартыненко. – Москва: Студия онлайн, 2021. – С. 238.

100. Моисеев, П.А. Изменение структуры и фитомассы древостоев на верхнем пределе их произрастания на Южном Урале / П.А. Моисеев, М.О. Бубнов, Н.М. Дэви, З.Я. Нагимов // Экология. – 2016. – № 3. – С. 163–172.

101. Моисеев, П.А. Динамика древесной растительности на участках остепненных склонов Южного Крака в последние 80 лет / П.А. Моисеев, И.К. Гайсин, М.О. Бубнов, О.О. Моисеева // Экология. – 2018. – № 2. – С. 157-162.

102. Мол, И. Определение временных интервалов. Изменение климата и ландшафтов Европы в последнее оледенение; обзор данных/ И. Мол // Эволюция экосистем Европы при переходе от плейстоцена к голоцену (24-8 тыс. л.н.) / Отв. ред. А.К. Маркова, Т. ван Кольфсхотен. – Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2008. – С. 74–87.

103. Мочалова, О.А. Растительный покров и охраняемые виды растений в зоне затопления Усть-Среднеканской ГЭС (Магаданская область) / О.А. Мочалова // Вестник Северо-Восточного научного центра ДВО РАН. – 2014. – № 1. – С. 120–122.

104. Мулдашев, А.А. Критический обзор семейства норичниковых

(Scrophulariaceae) Башкирии / А.А. Мулдашев, А.Х. Галеева // Вопросы рационального использования и охраны растений в Республике Башкортостан. – 1998. – С. 144-155.

105. Мулдашев, А.А. К охране редких видов растений болот в Республике Башкортостан / А.А. Мулдашев, В.Б. Мартыненко // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2010. – Т. 12, № 1-5. – С. 1417–1420.

106. Мулдашев, А.А. Реинтродукция редких видов рода *Allium* L. флоры Южного Урала на территории ботанического памятника природы «Гуровская гора» в Республике Башкортостан / А.А. Мулдашев, Н.В. Маслова, О.А. Елизарьева, А.Х. Галеева // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2011. – Т. 13, № 5-3. – С. 76–79.

107. Мулдашев, А.А. О находке реликтовой популяции *Allium hymenorhizum* Ledeb. (Alliaceae) в Республике Башкортостан / А.А. Мулдашев, Н.В. Маслова, А.Х. Галеева // Флора и растительность Сибири и Дальнего Востока. – 2016. – С. 145–150.

108. Мулдашев, А.А. Лук плевокорневищный / А.А. Мулдашев, Н.В. Маслова, А.Х. Галеева // Красная книга Республики Башкортостан: Т. 1: Растения и грибы / под ред. В.Б. Мартыненко. – Москва: Студия онлайн, 2021а. – С. 22.

109. Мулдашев, А.А. Лук косой / А.А. Мулдашев, Н.В. Маслова, О.А. Елизарьева // Красная книга Республики Башкортостан: Т. 1: Растения и грибы / под ред. В.Б. Мартыненко. – Москва: Студия онлайн, 2021б. – С. 21.

110. Мулдашев, А.А. Пион гибридный / А.А. Мулдашев, Н.В. Маслова, А.Х. Галеева, О.А. Елизарьева // Красная книга Республики Башкортостан: Т. 1: Растения и грибы / под ред. В.Б. Мартыненко. – Москва: Студия онлайн, 2021в. – С. 183.

111. Мулдашев, А.А. Лук черемша / А.А. Мулдашев, Л.М. Абрамова // Красная книга Республики Башкортостан: Т. 1: Растения и грибы / под ред. В.Б. Мартыненко. – Москва: Студия онлайн, 2021. – С. 26.

- 112.** Мулдашев, А.А. Льянка алтайская / А.А. Мулдашев, Я.М. Голованов //Красная книга Республики Башкортостан: Т. 1: Растения и грибы / под ред. В.Б. Мартыненко. – Москва: Студия онлайн, 2021. – С. 230.
- 113.** Мулдашев, А.А. Горечавочник бородатый / А.А. Мулдашев, А.Х. Галеева //Красная книга Республики Башкортостан: Т. 1: Растения и грибы / под ред. В.Б. Мартыненко. – Москва: Студия онлайн, 2021. – С. 119.
- 114.** Мулдашев, А.А. Береза карликовая / А.А. Мулдашев //Красная книга Республики Башкортостан: Т. 1: Растения и грибы / под ред. В.Б. Мартыненко. – Москва: Студия онлайн, 2021а. – С. 44.
- 115.** Мулдашев, А.А. Горечавка лежачая / А.А. Мулдашев //Красная книга Республики Башкортостан: Т. 1: Растения и грибы / под ред. В.Б. Мартыненко. – Москва: Студия онлайн, 2021б. – С. 118.
- 116.** Мулдашев, А.А. Зигаденус сибирский / А.А. Мулдашев //Красная книга Республики Башкортостан: Т. 1: Растения и грибы / под ред. В.Б. Мартыненко. – Москва: Студия онлайн, 2021в. – С. 136.
- 117.** Мулдашев, А.А. Схенус ржавый / А.А. Мулдашев //Красная книга Республики Башкортостан: Т. 1: Растения и грибы / под ред. В.Б. Мартыненко. – Москва: Студия онлайн, 2021г. – С. 82.
- 118.** Назаров, М.И. Род *Salix* L. / М.И. Назаров // Флора СССР. Т. V / Коллектив авторов; отв. ред. и ред. тома В.Л. Комаров. – Л.: изд-во Академии наук СССР, 1936. – С. 24–194.
- 119.** Невский, С.А. Род *Ophrys* (L.) Sw. / С.А. Невский //Флора СССР. Т. IV / Коллектив авторов; отв. ред. и ред. тома В.Л. Комаров. – Л.: изд-во Академии наук СССР, 1935. – С. 722–728.
- 120.** Невский, С.А. Род *Delphinium* L. / С.А. Невский //Флора СССР. Т. VII / Коллектив авторов; отв. ред. В.Л. Комаров, ред. тома Б.К. Шишкин. – Л.: изд-во Академии наук СССР, 1937а. – С. 99–163.
- 121.** Невский, С.А. Род *Thalictrum* L. / С.А. Невский //Флора СССР. Т. VII / Коллектив авторов; отв. ред. В.Л. Комаров, ред. тома Б.К. Шишкин. – Л.: изд-во Академии наук СССР, 1937б. – С.510–520.

- 122.** Определитель растений юга Красноярского края / М.И. Беглянова [и др.]; Отв. ред. И.М. Красноборов, Л.И. Кашина. – Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1979. – 669 с.
- 123.** Оценочный доклад об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации (техническое резюме) / О.А. Анисимов [и др.]. – М., Росгидромет, 2008. – 89 с.
- 124.** Красноборов, И.М. Определитель растений Республики Алтай / И.М. Красноборов [и др.]; отв. Ред. И.М. Красноборов, И.А. Артемов; Российская академ. наук, Сибирское отделение, Центральный Сибирский ботанический сад, Горно-Алтайский ботанический сад; М-во образования и науки РФ, Горно-Алтайский гос. Ун-т. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. – 701 с.
- 125.** Палеогеография Европы за последние сто тысяч лет (Атлас-монография) / Отв. ред. И.П. Герасимов, А.А. Величко; редакторы И.П. Герасимов, Н.С. Благоволлин, О.К. Леонтьев. – М.: Изд-во «Наука», 1982. – 156 с.
- 126.** Панкова, Е.И. Засоленные почвы России / Е.И. Панкова, Л.А. Воробьева, И.М. Гаджиев, И.Н. Горохова и др.: под ред. Л.Л. Шишов, Е.И. Панкова – М.: Академ-книга, 2006. – 854 с.
- 127.** Панова, Н.К. Формирование растительного покрова среднегорного высотного пояса Южного Урала с изменениями климата в голоцене / Н.К. Панова //Взаимосвязи среды и лесной растительности на Урале. – 1981. – С. 40-57.
- 128.** Панова, Н.К. История горных лесов центральной части Южного Урала в голоцене/ Н.К. Панова//Лесоведение. – 1982. – № 1. – С. 26–34.
- 129.** Панова, Н.К. История развития растительности горной части Южного Урала в позднем плейстоцене и голоцене, по палинологическим данным/ Н.К. Панова //Историческая экология животных гор Южного Урала. – Свердловск: УрО АН СССР, 1990. – С. 144–159.
- 130.** Плаксина, Т.И. Конспект флоры Волго-Уральского региона / Т. И. Плаксина – Самара: Издательство «Самарский университет», 2001. – 388 с.
- 131.** Поляков, П.П. Род *Artemisia* L. / П.П. Поляков //Флора СССР. Т. XXVI /

Коллектив авторов; отв. ред. и ред. тома Б.К. Шишкин и Е.Г. Комаров. – Л.: изд-во Академии наук СССР, 1961. – С. 425–553.

132. Подгаевская, Е.Н. Патриния сибирская / Е.Н. Подгаевская //Красная книга Челябинской области. Животные. Растения. Грибы / Е.Н. Подгаевская. – М.: ООО "Реарт", 2017. – С. 504.

133. Позднякова, Э.П. Краткая характеристика природных условий / Э.П. Позднякова, Е.А. Богдан //Реестр особо охраняемых природных территорий республиканского значения. – изд. 4-е, перераб. – Воронеж: ИП И.С. Коновалов, 2020. – С. 14–22.

134. Пospelова, Е.Б. Флора Кавалеровского района Приморского края / Е.Б. Пospelова, С.В. Прокопенко, Е.П. Кудрявцева // Комаровские чтения. – 2019. – № 67. – С. 54–164.

135. Постановление Правительства Вологодской области от 24 февраля 2015 г. N 125 Об отверждении перечня (списка) редких и исчезающих видов (внутривидовых таксонов) растений и грибов, занесенных в красную книгу Вологодской области. – 2015. – 41 с.

136. Почвы Башкортостана. Т. 1: Эколого-генетическая и агропроизводственная характеристика /Ф.Х. Хазиев, А.Х. Мукатанов, И.К. Хабиров, Г.А. Кольцова, И.М. Габбасова, Р.Я. Рамазанов; под ред. Ф.Х. Хазиева. – Уфа: Гилем, 1995. – 384 с.

137. Путенихин, В.П. Лиственница Сукачева на Южном Урале (изменчивость, популяционная структура и сохранение генофонда) / В.П. Путенихин – Уфа: УНЦ РАН, 1993. – 195 с.

138. Пшегусов, Р.Х. Стратегия жизни и долгосрочная климатогенная динамика эндемичного кавказского вида *Fritillaria latifolia* Willd / Р.Х. Пшегусов, В.А. Чадаева, И.В. Тания, Л.М. Абрамова, А.Н. Мустафина //Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки. – 2019. – Т. 161, № 4. – С. 571-589.

139. Раченкова, Е.Г. Лук косо́й / Е.Г. Раченкова //Красная книга Оренбургской области: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды животных,

растений и грибов: официальное издание / Е.Г. Раченкова / Министерство природных ресурсов, экологии и имущественных отношений Оренбургской области, Оренбургский государственный педагогический университет, Институт степи Уральского отделения Российской академии наук. – Воронеж: ООО «МИР», 2019. – 488 с.

140. Рожевиц, Р.Ю. Сем. Gramineae Juss. / Р.Ю. Рожевиц // Флора СССР. Т. II / Коллектив авторов; отв. Ред. В.Л. Комаров, ред. тома Р.Ю. Рожевиц, Б.К. Шишкин. – Л.: изд-во Академии наук СССР, 1934. – С. 1–24.

141. Рожевиц, Р.Ю. Род Schoenus L. / Р.Ю. Рожевиц // Флора СССР. Т. III / Коллектив авторов; отв. Ред. В.Л. Комаров, ред. тома Б.К. Шишкин. – Л.: изд-во Академии наук СССР, 1935. – С. 98–101.

142. Рябова, Т.П. Развитие растительности Башкирского Предуралья в голоцене / Т.П. Рябова // Научные доклады Высшей школы. Биологические науки. – 1965. – № 1. – С.134-138.

143. Рябинина, З.Н. Определитель сосудистых растений Оренбургской области / З.Н. Рябинина, М.С. Князев – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. – 758 с.

144. Санданов, Д.В. Пространственное моделирование ареалов восточно-азиатских видов растений: современное состояние и динамика под влиянием климатических изменений / Д.В. Санданов, Б.Б. Найданов // Раст. мир Азиатской России. – 2015. – Т. 3, № 19. – С. 30–35.

145. Санданов, Д.В. Современные подходы к моделированию разнообразия и пространственному распределению видов растений: перспективы их применения в России / Д.В. Санданов, // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2019. – № 46. – С. 82-114.

146. Санданов, Д.В. Моделирование распространения видов секции *Xerobia* Bunge рода *Oxytropis* DC. на территории Центральной Азии при климатических изменениях в прошлом и будущем / Д.В. Санданов, А.С. Дугарова, И.Ю. Селютина // Вестник Томского государственного университета. Биология. – 2020. – № 52. – С.85–104.

- 147.** Свидзинская, Д.В. Основные геоморфометрические параметры: теория //GIS-LAB. Географические информационные системы и дистанционное зондирование. URL: <http://gis-lab.info/qa/geomorphometric-parameters-theory.html> (дата посещения: 20.05. 2019).
- 148.** Серегин, А.П. Флористические материалы и ключ по лукам(*Allium L.*, *Alliaceae*) Европейской России / А.П. Серегин // Бюл. МОИП. Отд. Биол. – 2005. – Т. 110. – Вып.1. – С. 45–51.
- 149.** Симакова, А.Н. Реконструкции растительного покрова Русской равнины второй половины позднего неоплейстоцена и среднего голоцена / А.Н. Симакова, А.Ю. Пузаченко // Труды Геологического института. – 2005. – № 516. – С. 404-430.
- 150.** Силаева, Т.Б. Схенус ржавый. / Т.Б. Силаева //Красная книга Ульяновской области / Под науч. ред. Е.А. Артемьевой, А.В. Масленникова, М.В. Корепова; Правительство Ульяновской области. — Москва: Издательство «Буки Веди», 2015. – С. 550.
- 151.** Смирнов, Н.Г. Историческая экология животных гор Южного Урала / Н.Г. Смирнов [и др.] – Свердловск: УрО АН СССР, 1990. – 245 с.
- 152.** Смирнов Д.Г. Моделирование потенциального распространения *Barbastella walteri* (*Barbastella: chiroptera, Vespertilionidae*) в среднеазиатском регионе на основе биоклиматических данных / Д.Г. Смирнов, Т.К. Хабилов, Д.Э. Таджибаева //Аридные экосистемы. – 2021. – Т. 27, № 3 (88). – С. 52-60.
- 153.** Солодянкина, С.В. Моделирование потенциального ареала ветреницы байкальской (*Anemone baicalensis*, *Ranunculaceae*) с использованием данных тематических карт / С.В. Солодянкина, Е.А. Истомина, А.А. Сороковой, В.В. Чепинога //География и природ. Ресурсы. – 2016. – № 5 – С. 92–99.
- 154.** Судницына, Д.Н. Схенус ржавый / Д.Н. Судницына //Красная книга Псковской области. – Псков, 2014. – С. 544.
- 155.** Сукачев, В.Н. Очерк истории озер и растительности Среднего Урала в течение голоцена по данным изучения сапропелевых отложений / В.Н. Сукачев, Г.И. Поплавская // Бюлл. Комисс. по изучению четвертич. периода. –

1946. – № 8. – С. 5-37.

156. Татанов, И.В. Схенус ржавый / И.В. Татанов //Красная книга Ленинградской области: Объекты растительного мира / Гл. Редактор Д. В. Гельтман. – Спб: Марафон, 2018. – 848 с.

157. Тимофеев, Д.А. Терминология карста / Д.А. Тимофеев, В.Н. Дублянский, Т.З. Кикнадзе — М.: Наука. – 1991. – 259 с.

158. Фаткуллин, Р. А. Природные ресурсы Республики Башкортостан и рациональное их использование / Р. А. Фаткуллин. — Уфа: Китап., 1996. – Т. 176. – 176 с.

159. Федоров, Н.И. Живокость уральская. / Н.И. Федоров //Красная книга Республики Башкортостан: Т. 1: Растения и грибы / под ред. д-ра биол. наук В.Б. Мартыненко. – Москва: Студия онлайн, 2021. – С. 207.

160. Федоров, Н.И. Род *Delphinium* L. на Южном Урале: экология, популяционная структура и биохимические особенности / Н.И. Федоров. – Изд-во «Гилем», 2003. – 149 с.

161. Федоров, Н.И. Аллозимная изменчивость эндемичного растения Южного Урала *Delphinium uralense* Nevski и широко распространенного *Delphinium dictyocarpum* DC / Н.И. Федоров, Н.Н. Редькина, О.И. Михайленко, Р.Ю. Муллагулов, Ю.А. Янбаев // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2007. – № 5. – С. 373-376.

162. Федченко, Б.А. Род *Oxytropis* DC. / Б.А. Федченко, И.Т. Васильченко //Флора СССР. Т. XIII / Коллектив авторов; отв. ред. В.Л. Комаров, ред. тома Б.К. Шишкин и Е.Г. Бобров. – Л.: изд-во Академии наук СССР, 1948. – С. 1–233.

163. Федченко, Б.А. Род *Vicia* L. / Б.А. Федченко //Флора СССР. Т. XIII / Коллектив авторов; отв. ред. В.Л. Комаров, ред. тома Б.К. Шишкин и Е.Г. Бобров. – Л.: изд-во Академии наук СССР, 1948. – С. 406–463.

164. Филинов, А.А. О четырех ассоциациях порядка *Carici macrocarae-Crepidetalia sibiricae* Ermakov et al. 1999 в Республике Башкортостан / А.А. Филинов, С.М. Ямалов, А.И. Соломец //Растительность России. – 2002. – № 3.

- 165.** Флора Сибири. Berberidaceae – Grossulariaceae Т.7 / Сост. Г.А. Пешкова, Л.И. Малышева, О.Д. Никифорова и др. – в 14 т. – Новосибирск: ВО «Наука». Сибирская издательская фирма, 1994. – 312 с.
- 166.** Флора Сибири. *Raeonia* L. Т. 6 / Сост. С.А. Тимохина, Н.В. Фризен, Н.В. Власова – в 14 т. – Новосибирск: ВО «Наука». Сибирская издательская фирма, 1993. – С. 93-95.
- 167.** Флора европейской части СССР. Т. III / Коллектив авторов; отв. Ред. А. А. Федоров, ред. тома Ю.Л. Меницкий. – Л.: «Наука», 1978. – 259 с.
- 168.** Фомин, В.В. Климатогенная и антропогенная пространственно-временная динамика древесной растительности во второй половине XX века / В.В. Фомин – Екатеринбург: ИЭРиЖ УрО РАН, 2009. – 150 с.
- 169.** Фризен, Н.В. *Allium* L.–Лук. / Н.В. Фризен //Флора Сибири. Araceae–Orchidaceae – Новосибирск: Наука, 1987. – Т. 4. – С. 55-96.
- 170.** Хайретдинов, С.С. Материалы о распространении лука косого (Сем. Alliaceae J. Agardh) в Башкирии и пути его охраны / С.С. Хайретдинов // Охрана растений в Поволжье и на Урале. Куйбышев, 1984. – С. 30–39.
- 171.** Хотинский, Н.А. Голоцен Северной Евразии / Н.А. Хотинский – М.: Наука, 1977. – 200 с.
- 172.** Хотинский, Н.А. Главные этапы развития растительности и климата Урала в голоцене / Н.А. Хотинский, В.К. Немкова, Т.Г. Сурова // Вопросы археологии Урала. – 1982. – Вып. 16. – С. 145-153.
- 173.** Черемушкина, В.А. Корневищные луки северной Азии: биология, экология, интродукция / В.А. Черемушкина, Ю.М. Днепровский, В.П. Гранкина, В.П. Судобина. – Новосибирск: Наука. Сиб. Отд-ние, 1992. – 157 с.
- 174.** Чурюлина, А. Г. Ареал березы шерстистой (*Betula lanata* (Regel) V. Vassil) и влияние на него изменений климата / А.Г. Чурюлина, М.В. Бочарников //Ученые записки Российского государственного гидрометеорологического университета. – 2019. – № 56. – С. 133-144.
- 175.** Цветаев, А.А. Горы Ирмель (Южный Урал). Физико-географический

очерк / А.А. Цветаев. – Уфа.: Географическое общество СССР. Башкирский филиал, 1960. – 82 с.

176. Шварц, С.С. Экологические закономерности эволюции / С.С. Шварц – Наука, 1980. – Т. 278. – 278 с.

177. Широких, П.С. Опыт синтаксономического и ординационного анализа восстановительной сукцессии на вырубках светлохвойных бореальных лесов Южного Урала / П.С. Широких, В.Б. Мартыненко, А.М. Кунафин //Экология. – 2013. – № 3. – С. 169-169.

178. Широких, П.С. Разнообразие широколиственных и сосново-широколиственных лесов на восточной границе их распространения / П.С. Широких [и др.] //Растительность России. – 2021. – № 42. – С. 63-117.

179. Шипчинский, Н.В. Род *Paeonia* L. / Н.В. Шипчинский //Флора СССР. Т. VII / Коллектив авторов; отв. ред. В.Л. Комаров, ред. тома Б.К. Шишкин. – Л.: изд-во Академии наук СССР, 1937. – С. 24–29.

180. Шишкин, Б.К. Сем. Caryophyllaceae Juss. / Б.К. Шишкин //Флора СССР. Т. VI / Коллектив авторов; отв. ред. В.Л. Комаров, ред. тома Б.К. Шишкин. – Л.: изд-во Академии наук СССР, 1936. – С. 558–590.

181. Шишкин, Б.К. Род *Androsace* L. / Б.К. Шишкин //Флора СССР. Т. XVIII / Коллектив авторов; отв. ред. и ред. тома Б.К. Шишкин и В.Л. Комаров. – Л.: изд-во Академии наук СССР, 1952. – С. 217–237.

182. Шиятов, С.Г. Опыт использования старых фотоснимков для изучения смен лесной растительности на верхнем пределе ее произрастания / С.Г. Шиятов //Флористические и геоботанические исследования на Урале. – 1983. – С. 76-109.

183. Шиятов, С.Г. Пространственно-временная динамика лесотундровых сообществ на Полярном Урале / С.Г. Шиятов, М.М. Терентьев, В.В. Фомин //Экология. – 2005. – № 2. – С. 83-90.

184. Штейнберг, Е.И. Сем. Lentibulariaceae Lindl. / Е.И. Штейнберг //Флора СССР. Т. XXIII / Коллектив авторов; отв. ред. и ред. тома Б.К. Шишкин. – Л.: изд-во Академии наук СССР, 1958 – С. 558-776.

- 185.** Эбель, А.Л. Конспект флоры северо-западной части Алтае-Саянской провинции / А.Л. Эбель. – Кемерово: КРЭОО «Ирбис», 2012. – 568 с.
- 186.** Юзепчук, С.В. Подсем. *Rosoideae*. / С.В. Юзепчук // Флора СССР. Т. X / Коллектив авторов; отв. ред. В.Л. Комаров, ред. тома Б.К. Шишкин и С.В. Юзепчук. – Л.: изд-во Академии наук СССР, 1941. – С. 4–508.
- 187.** Юзепчук, С.В. Сем. *Cistaceae* Lindl. / С.В. Юзепчук // Флора СССР. Т. XV / Коллектив авторов; отв. ред. В.Л. Комаров, ред. тома Б.К. Шишкин и Е.Г. Бобров. – Л.: изд-во Академии наук СССР, 1949. – С. 328–349.
- 188.** Abdelaal, M. Using MaxEnt modeling to predict the potential distribution of the endemic plant *Rosa arabica* Crép. in Egypt / M. Abdelaal, M. Fois, G. Fenu, G. Bacchetta // *Ecological informatics*. – 2019. – Vol. 50. – P. 68–75.
- 189.** Abrha, H. Predicting suitable habitats of endangered *Juniperus procera* tree under climate change in Northern Ethiopia / H. Abrha [et al.] // *Journal of Sustainable Forestry*. – 2018. – Vol. 37, № 8. – P. 842–853.
- 190.** Adhikari, D. Habitat Distribution Modelling for Reintroduction of *Ilex khasiana* Purk. A Critically Endangered Tree Species of Northeastern India / D. Adhikari, S.K. Barik, K. Upadhaya // *Ecology Engineering*. – 2012. – Vol. 40. – P. 37–43.
- 191.** Aiello-Lammens, M.E. spThin: an R package for spatial thinning of species occurrence records for use in ecological niche models / M.E. Aiello-Lammens, R.A. Boria, A. Radosavljevic, B. Vilela, R.P. Anderson // *Ecography*. – 2015. – V. 38, № 5. – P. 541–545.
- 192.** Akhter, S. Habitat distribution modelling to identify areas of high conservation value under climate change for *Mangifera sylvatica* Roxb. of Bangladesh / S. Akhter [et al.] // *Land Use Policy*. – 2017. – Vol. 60. – P. 223–232.
- 193.** Anderson, R.P. Species-specific tuning increases robustness to sampling bias in models of species distributions: an implementation with Maxent / R.P. Anderson, Jr I. Gonzalez // *Ecological Modelling*. – 2011. – Vol. 222, № 15. – P. 2796–2811.
- 194.** Araújo, M.B. Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe / M.B. Araújo, W. Thuiller, R.G. Pearson // *Journal of Biogeography*. – 2006.

– Vol. 33, № 10. – P. 1712–1728.

195. Araújo, M.B. Climate change threatens European conservation areas / M.B. Araújo, D. Alagador, M. Cabeza, D. Nogués-Bravo, W. Thuiller // *Ecology letters*. – 2011. – V. 14, № 5. – P. 484-492.

196. Baikov, K.S. Spatial Monitoring of the Modern Environmental Situation in Localities of *Vavilovia formosa* (Fabaceae) Based on Predictive Climatic Modeling / K.S. Baikov, D.A. Krivenko, R.A. Murtazaliev, V.V. Murashko, E.V. Baikova // *Contemporary Problems of Ecology*. – 2021. – V. 14, № 2. – P. 182-192.

197. Baisheva, E.Z. Plant diversity and spatial vegetation structure of the calcareous spring fen in the "Arkaulovskoye Mire" Protected Area (Southern Urals, Russia) / E.Z. Baisheva [et al.] // *Mires and Peat*. – 2020. – Vol. 26, № 10. – P. 1–17.

198. Bamford, A.J. Trade-offs between specificity and regional generality in habitat association models: a case study of two species of African vulture / A.J. Bamford [et al.] // *Journal of Applied Ecology*. – 2009. – Vol.46, № 4. – P. 852–860.

199. Barbet-Massin, M. Climate change increases the risk of invasion by the Yellow-legged hornet / M. Barbet-Massin // *Biological Conservation*. – 2013. – Vol. 157. – P. 4–10.

200. Barlow, M.M. Species distribution models for conservation: identifying translocation sites for eastern quolls under climate change / M.M. Barlow [et al.] // *Global Ecology and Conservation*. – 2021. – P. E01735.

201. Bellard, C. Impacts of climate change on the future of biodiversity / C. Bellard, C. Bertelsmeier, P. Leadley, W. Thuiller, F. Courchamp // *Ecology letters*. – 2012. – V. 15, № 4. – P. 365-377.

202. Bentsen, M. The Norwegian Earth System Model, NorESM1-M–Part 1: description and basic evaluation of the physical climate / M. Bentsen [et al.] // *Geoscientific Model Development*. – 2013. – Vol. 6, № 3. – P. 687–720.

203. Bilz, M. European Red List of Vascular / M. Bilz, S.P. Kell, N. Maxted, R.V. Lansdown // *PlantsLuxembourg: Publications Office of the European Union*. – 2011. – 130 p.

- 204.** Blaus, A. From bog to fen: palaeoecological reconstruction of the development of a calcareous spring fen on Saaremaa, Estonia / A. Blaus [et al.] // *Vegetation History and Archaeobotany*. – 2020. – V. 29, № 3. – P. 373-391.
- 205.** Brecka, A.F. Climate change impacts on boreal forest timber supply / A.F. Brecka, C. Shahi, H.Y. Chen // *Forest Policy and Economics*. – 2018 – Vol. 92 – P. 11–21.
- 206.** Brown, J.L. Seeing the forest through many trees: Multi-taxon patterns of phylogenetic diversity in the Atlantic Forest hotspot / J.L. Brown [et al.] // *Diversity and Distributions*. – 2020. – Vol. 26, № 9. – P. 1160–1176.
- 207.** Bobrowski, M. Why input matters: Selection of climate data sets for modelling the potential distribution of a treeline species in the Himalayan region / M. Bobrowski, U. Schickhoff // *Ecological Modelling*. – 2017. – Vol. 359 – P. 92–102.
- 208.** Bobrowski, M. Is new always better? frontiers in global climate datasets for modeling treeline species in the Himalayas / M. Bobrowski, J. Weidinger, U. Schickhoff // *Atmosphere*. – 2021. – Vol. 12, № 5. – P. 543.
- 209.** Boorgula, G.D.Y. Assessing the current and future potential geographic distribution of the American dog tick, *Dermacentor variabilis* (Say) (Acari: Ixodidae) in North America / G.D.Y. Boorgula, A.T. Peterson, D.H. Foley, R.R. Ganta, R.K. Raghavan // *PloS one*. – 2020. – Vol. 15, № 8. – P. e0237191.
- 210.** Booth, T.H. BioCLIM: the first species distribution modelling package, its early applications and relevance to most current MAXENT studies / T.H. Booth [et al.] // *Diversity and Distributions*. – 2014. – Vol.20, № 1. – P. 1-9.
- 211.** Byrne, M. Persistence and stochasticity are key determinants of genetic diversity in plants associated with banded iron formation inselbergs. / M. Byrne [et al.] // *Biological Reviews*. – 2018 – Vol.94, № 3. – P. 753–772.
- 212.** Capinha, C. Assessing the environmental requirements of invaders using ensembles of distribution models / C. Capinha, P. Anastácio // *Diversity and Distributions*. – 2011. – Vol. 17, № 1. – P. 13–24.
- 213.** Chen, G. Abundant and rare species may invoke different assembly processes

in response to climate extremes: implications for biodiversity conservation / G. Chen [et al.] // *Ecological Indicators*. – 2020. – V. 117. – P. 106716.

214. Corlett, R.T. Climate Change and Edaphic Specialists: Irresistible Force Meets Immovable Object? / R.T. Corlett, K.W. Tomlinson // *Trends in Ecology & Evolution* In press. – 2020. – Vol.35, № 4. – P. 367–376.

215. Damschen, E.I. Endemic plant communities on special soils: early victims or hardy survivors of climate change? / E.I. Damschen [et al.] // *Journal of Ecology*. – 2012. – Vol.100, № 5. – P. 1122–1130.

216. Dang, A.T.N. Modelling the Potential Impacts of Climate Change on Rice Cultivation in Mekong Delta, Vietnam / A.T.N. Dang, L. Kumar., M. Reid // *Sustainability*. – 2020. – Vol. 12, № 22. – P. 9608.

217. Danielson, J.J. Global multi-resolution terrain elevation data 2010 (GMTED2010) / J.J. Danielson, D.B. Gesch // US Department of the Interior, US Geological Survey. – 2011. – 26 p.

218. Dormann, C.F. Collinearity: a review of methods to deal with it and a simulation study evaluating their performance / C.F. Dormann [et al.] // *Ecography*. – 2013. – Vol. 36, № 1. – P. 27–46.

219. Duflot, R. Combining habitat suitability models and spatial graphs for more effective landscape conservation planning: an applied methodological framework and a species case study / R. Duflot, C. Avon, P. Roche, L. Bergès // *J. Nat. Conserv.* – 2018. – V. 46. – P. 38–47.

220. Elith, J. Species distribution models: ecological explanation and prediction across space and time / J. Elith, J.R. Leathwick // *Annual review of ecology, evolution, and systematics*. – 2009. – Vol. 40. – P. 677–697.

221. Elith, J. The art of modelling range shifting species / J. Elith, M. Kearney, S. Phillips // *Methods in ecology and evolution*. – 2010. – Vol. 1, № 4. – C. 330-342.

222. Fedorov, N.I. Identifying Highly Diverse Areas of Rare Plant Species as a Basis for Assessing Representativeness and Improving the Network of Protected Areas / N.I. Fedorov [et al.] // *Contemporary Problems of Ecology* – 2020. – Vol. 13, № 4. – P. 418–428.

- 223.** Fedorov, N.I. Changes in the Distribution of Broadleaf Tree Species in the Central Part of the Southern Urals since the 1970s / N.I. Fedorov [et al.] // Russian Journal of Ecology. – 2021a. – V. 52, № 2. – P. 118-125.
- 224.** Fedorova, Y.A. Predicting the potential distribution of an endemic steppe species *Artemisia salsoloides* Willd. under the climate change / Y.A. Fedorova, A.A. Muldashev, N.I. Fedorov, V.B. Martynenko, A.G. Kutueva // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – V. 817, № 1. – P. 012032.
- 225.** Fick, S.E. WorldClim 2: new 1 km spatial resolution climate surfaces for global land areas / S.E. Fick, R.J. Hijmans // International journal of climatology. – 2017. – Vol.37, № 12. – P. 4302–4315.
- 226.** Fielding, A.H. A review of methods for the assessment of prediction errors in conservation presence/absence models / A.H. Fielding, J.F. Bell // Environmental Conservation. – 1997. – Vol. 24. – P. 38–49.
- 227.** Flato, G. Evaluation of climate models / G. Flato [et al.] // Climate change 2013: the physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. – Cambridge University Press. – 2014. – P. 741–866.
- 228.** Fourcade, Y. Mapping species distributions with MAXENT using a geographically biased sample of presence data: a performance assessment of methods for correcting sampling bias / Y. Fourcade, J.O. Engler, D. Rödder, J. Secondi // PloS one. – 2014. – Vol. 9, № 5. – P. e97122.
- 229.** Friesen, N. Phylogeny and New Intrageneric Classification of *Allium* (Alliaceae) Based on Nuclear Ribosomal DNA ITS Sequences / N. Friesen, R. M. Fritsch, F. R. Blattner // Aliso: A Journal of Systematic and Evolutionary Botany. – 2006. – Vol. 22, № 1. – P. 372–395.
- 230.** Garcia, R.A. Multiple dimensions of climate change and their implications for biodiversity / R.A. Garcia, M. Cabeza, C. Rahbek, M. B. Araújo // Science. – 2014. – V. 344, № 6183. – P. 1247579-1247579.
- 231.** Garza, G. Potential Effects of Climate Change on the Geographic Distribution of the Endangered Plant Species *Manihot walkerae* / G. Garza [et al.] // Forests. –

2020. – Vol. 11, № 6. – P. 689.

232. GBIF.org, GBIF Home Page. – URL: <https://www.gbif.org> (Accessed 13 December 2021).

233. Gebrewahid, Y. Current and future predicting potential areas of *Oxytenanthera abyssinica* (A. Richard) using MaxEnt model under climate change in Northern Ethiopia / Y. Gebrewahid [et al.] // *Ecological Processes*. – 2020. – Vol. 9, № 1. – P. 6.

234. Gent, P.R. The community climate system model version 4 / P.R. Gent [et al.] // *Journal of climate*. – 2011. – Vol. 24, № 19. – P. 4973–4991.

235. Gobezie, T. Modeling the Impact of Climate Change on the Distribution of *Hagenia Abyssinica* in Ethiopia / T. Gobezie, S. Nemomissa, T. Bekele // *Preprints*. – 2020. – P. 2020100467.

236. Gomes, V.H.F. Species Distribution Modelling: Contrasting presence-only models with plot abundance data / V.H.F. Gomes [et al.] // *Scientific reports*. – 2018. – Vol. 8, № 1. – P. 1–12.

237. Govaerts, R. World checklist of Cyperaceae (Sedges.) / R. Govaerts [et al.] – Kew: Royal Botanic Gardens, 2007. – 765 p.

238. Grimmer, L. Presence-only species distribution models are sensitive to sample prevalence: Evaluating models using spatial prediction stability and accuracy metrics / L. Grimmer, R. Whitsed, A. Horta // *Ecological Modelling*. – 2020. – V. 431. – P. 109194.

239. Groff, L.A. Using Ecological Niche Models to Direct Rare Amphibian Surveys: A Case Study Using the Oregon Spotted Frog (*Rana pretiosa*). / L.A. Groff, S.B. Marks, M.P. Hayes // *Herpetological Conservation and Biology*. – 2014. – Vol.9. – P. 354–368.

240. Guisan, A. Using niche-based models to improve the sampling of rare species / A. Guisan [et al.] // *Conservation Biology*. – 2006. – Vol. 20, № 2. – P. 501–511.

241. Hannah, L. Protected area needs in a changing climate / L. Hannah [et al.] // *Frontiers in Ecology and the Environment*. – 2007. – V. 5, № 3. – P. 131–138.

242. Hannah, L. Global climate change adaptation priorities for Biodiversity and

- food security / L. Hannah [et al.] // PLoS one. – 2013. – Vol. 8, № 8. – P. e72590.
- 243.** Hannah, L. Protected areas and climate change / L. Hannah // Annals of the New York Academy of Sciences. – 2008. – Vol. 1134, № 1. – P. 201–212.
- 244.** Hernandez, P.A. The Effect of Sample Size and Species Characteristics on Performance of Different Species Distribution Modeling Methods / P.A. Hernandez [et al.] // Ecography. – 2006. – Vol. 29 – P. 773–785.
- 245.** Hills, R. Incorporating evolutionary history into conservation assessments of a highly threatened group of species, South African Dioscorea (Dioscoreaceae) / R. Hills, S. Bachman, F. Forest, J. Moat, P. Wilkin // South African Journal of Botany. – 2019. – Vol. 10. – P. 296–307.
- 246.** Hijmans, R. Species Distribution Modeling with R. Encyclopedia of Biodiversity / R. Hijmans, J. Elith. – 2013. – 87 p.
- 247.** Hof, A.R. An uncertain future for the endemic Galliformes of the Caucasus. / A.R. Hof, A.M. Allen // Science of the total environment. – 2019 – Vol. 651. – P. 725–735.
- 248.** Hutchinson, M. ANUCLIM 6.0 user’s guide / M. Hutchinson [et al.] // Fenner School of Environment and Society, Australian National University, Canberra. – 2009. – 84 p.
- 249.** Ibrahimova, A.G. Distribution pattern of threatened plants in Qakh District (Azerbaijan): environmental factors affecting and prediction of the potential distribution // Journal of the Belarusian State University. Ecology. 2020. – № 2. – P. 9–17.
- 250.** IPCC, 2021: Summary for Policymakers. Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani [et al.] (eds.). – Cambridge University Press., 2021 – 41 p.
- 251.** Iwatsuki, K. Endangered vascular plants in Japan—Present status and a proposal for conservation / K. Iwatsuki // Proceedings of the Japan Academy, Series B. – 2008. – V. 84, № 8. – P. 275-286.
- 252.** Jarnevich, C.S. Caveats for correlative species distribution modeling / C.S.

Jarnevich, T.J. Stohlgren, S. Kumar, J.T. Morisette, T.R. Holcombe // *Ecological Informatics*. – 2015. – V. 29. – P. 6-15.

253. Jiang, H. Predicting the potential distribution of *Polygala tenuifolia* Willd. under climate change in China / H. Jiang [et al.] // *PLoS One*. – 2016. – Vol. 11, № 9. – P. e0163718.

254. Jiménez-Valverde, A. Insights into the area under the receiver operating characteristic curve (AUC) as a discrimination measure in species distribution modelling / A. Jiménez-Valverde // *Global Ecology and Biogeography*. – 2012. – Vol. 21, № 4. – P. 498-507.

255. Jiménez-Alfaro, B. Anticipating extinctions of glacial relict populations in mountain refugia / B. Jiménez-Alfaro, L. Garcia-Calvo, P. Garcia, J.L. Acebes, // *Biological Conservation*. – 2016. – Vol. 201. – P. 243-251.

256. Jubb, I. Representative concentration pathways (RCPs) / I. Jubb, P. Canadell, M. Dix // *Australian climate change science program*. – 2013. – P. 5-7.

257. Karger, D.N. CHELSA climatologies at high resolution for the earth's land surface areas (Version 1.1) / D.N. Karger [et al.] // *World DataCenter for Climate*. – 2016.

258. Karger, D.N. Climatologies at high resolution for the Earth's land surface areas / D.N. Karger [et al.] // *Scientific Data*. – 2017. – Vol. 4. – P. 170122.

259. Kashin, A.S. Potential Range of *Bulbocodium versicolor* (Ker-Gawl.) Spreng (Colchicaceae, Liliopsida) in Russia / A.S. Kashin // *Povolzhskiy Journal of Ecology*. – 2020. – № 2 – P. 241–247.

260. Kearney, M. Mechanistic niche modelling: combining physiological and spatial data to predict species' ranges / M. Kearney, W.P. Porter // *Ecol. Letters*. – 2009 – Vol. 12 – P. 334–350.

261. Kearney, M.R. Correlative and mechanistic models of species distribution provide congruent forecasts under climate change / M.R. Kearney, B.A. Wintle, W. P. Porter // *Conservation letters*. – 2010. – Vol. 3, № 3. – P. 203-213.

262. Ko, C.Y. An assessment of the efficiency of protection status through determinations of Biodiversity hotspots based on endemic bird species, Taiwan / C.

Y. Ko, S. Murphy, T. Root, P. F. Lee // Journal for Nature Conservation. – 2014. – Vol. 22, № 3. – P. 418-431.

263. Kogo, B.K. Modelling climate suitability for rainfed Maize cultivation in Kenya using a Maximum Entropy (MaxENT) approach / B.K. Kogo [et al.] // Agronomy. – 2019. – Vol. 9, № 11. – P. 727.

264. Kumar, P. Assessment of impact of climate change on Rhododendrons in Sikkim Himalayas using Maxent modelling: limitations and challenges / P. Kumar // Biodiversity and Conservation. – 2012. – Vol. 21, № 5. – P. 1251-1266.

265. Kumar, S. Maxent modeling for predicting suitable habitat for threatened and endangered tree *Canacomyrica monticola* in New Caledonia / S. Kumar, T.J. Stohlgren // Journal of Ecology and the Natural Environment. – 2009. – Vol. 1, № 4. – P. 094-098.

266. Kutueva, A.G. Forecast of climate change impact on habitat suitability of *Linaria uralensis* Kotov (Scrophulariaceae) in the Southern Urals / A.G. Kutueva, N.I. Fedorov, A.A. Muldashev, Y.A. Fedorova, L.G. Naumova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – 2021. – V. 817, № 1. – P. 012053.

267. Lannuzel, G. High-resolution topographic variables accurately predict the distribution of rare plant species for conservation area selection in a narrow-endemism hotspot in New Caledonia / G. Lannuzel [et al.] // Biodiversity and Conservation. – 2021. – Vol. 30, № 4. – P. 963-990.

268. Larsen F.W. Will protection of 17% of land by 2020 be enough to safeguard Biodiversity and critical ecosystem services? / F.W. Larsen, W.R. Turner, R.A. Mittermeier // Oryx. – 2015. – V. 49, № 1. – P. 74-79.

269. Lawler, J.J. Planning for climate change through additions to a national protected area network: implications for cost and configuration / J.J. Lawler [et al.] // Philosophical Transactions of the Royal Society B. – 2020. – Vol. 375, № 1794. – P. 20190117.

270. Leach K. Egypt's Protected Area network under future climate change / K. Leach, S. Zalut, F. Gilbert // Biological Conservation. – 2013. – Vol. 159. – P. 490-500.

- 271.** Lidetu, D. A survey on the occurrence of anthelmintic resistance in nematodes of sheep and goats found in different agro-ecologies in Ethiopia / D. Lidetu // Ethiopian Journal of Animal Production. – 2009. – Vol. 9, № 1. – P. 159.
- 272.** Lin, C.T. The Relic *Trochodendron aralioides* Siebold & Zucc. (Trochodendraceae) in Taiwan: Ensemble distribution modeling and climate change impacts / C.T. Lin, C.A. Chiu // Forests. – 2018. – V. 10, № 1. – P. 7–17.
- 273.** Liu, C. Measuring and comparing the accuracy of species distribution models with presence–absence data / C. Liu, M. White, G. Newell // Ecography. – 2011. – V. 34, № 2. – P. 232-243.
- 274.** Liu, C. Selecting thresholds for the prediction of species occurrence with presence only data / C. Liu, M. White, G. Newell // J. Biogeogr. – 2013. – Vol. 40, № 4. – P. 778-789.
- 275.** Liu, C. On the selection of thresholds for predicting species occurrence with presence-only data / C. Liu, G. Newell, M. White // Ecology and Evolution. – 2016. – Vol. 6, № 1. – P. 337-348.
- 276.** Lobo, J.M. AUC: a misleading measure of the performance of predictive distribution models / J.M. Lobo, A. Jiménez-Valverde, R Real // Global ecology and Biogeography. – 2008. – V. 17, № 2. – P. 145-151.
- 277.** Loiselle, B.A. Avoiding pitfalls of using species distribution models in conservation planning / B.A. Loiselle [et al.] // Conservation Biology. – 2003. – Vol. 17, № 6. – P. 1591-1600.
- 278.** Lososová, Z. Projecting potential future shifts in species composition of European urban plant communities / Z. Lososová [et al.] // Diversity and Distributions. – 2018. – Vol. 24, № 6. – P. 765-775.
- 279.** Manish, K. Modelling the impacts of future climate change on plant communities in the Himalaya: a case study from Eastern Himalaya, India / K. Manish [et al.] // Modeling Earth Systems and Environment. – 2016. – Vol. 2, № 2. – P. 1-12.

- 280.** Merow, C. A practical guide to MaxEnt for modeling species' distributions: what it does, and why inputs and settings matter / C. Merow, M.J. Smith, Jr J.A. Silander // *Ecography*. – 2013. – V. 36, № 10. – P. 1058-1069.
- 281.** McSweeney, C.F. Selecting CMIP5 GCMs for downscaling over multiple regions / C.F. McSweeney, R.G. Jones, R.W. Lee, D.P. Rowell // *Climate Dynamics*. – 2015. – Vol. 44, № 11. – P. 3237–3260.
- 282.** Moss, R.H. Towards new scenarios for the analysis of emissions: Climate change, impacts and response strategies / R.H. Moss [et al.] // Intergovernmental Panel on Climate Change Secretariat (IPCC). – 2008. – 132 p.
- 283.** Mugo, J.W. Rainfall Variability under Present and Future Climate Scenarios Using the Rossby Center Bias-Corrected Regional Climate Model / J.W. Mugo, F.J. Opijah, J. Ngaina, F. Karanja, M.W. Mburu // *American Journal of Climate Change*. – 2020. – Vol. 9, № 3. – P. 243-265.
- 284.** Ning, H. Predicting the future redistribution of Chinese white pine *Pinus armandii* Franch. Under climate change scenarios in China using species distribution models / H. Ning, L. Ling, X. Sun, X. Kang, H. Chen // *Global Ecology and Conservation*. – 2021. – Vol. 25. – P. E01420.
- 285.** Nix, H.A. A Biogeographic analysis of Australian elapid snakes, Atlas of elapid snakes of Australia. Australian Flora and Fauna Series 7 / H.A. Nix – AGPS Canberra, 1986. – P. 4-15.
- 286.** O'Donnell, M.S. Bioclimatic predictors for supporting ecological applications in the conterminous United States / M.S. O'Donnell, D.A. Ignizio // *US geological survey data series*. – 2012. – V. 691, № 10. – P. 4-9.
- 287.** Oleas, N.H. Using species distribution models as a tool to discover new populations of *Phaedranassa brevifolia* Meerow, 1987 (Liliopsida: Amaryllidaceae) in Northern Ecuador / N.H. Oleas [et al.] // *Check List*. – 2014. – Vol. 10, № 3. – P. 689-691.
- 288.** Ortega-Huerta, M.A. Modelling spatial patterns of Biodiversity for conservation prioritization in northeastern Mexico / M.A. Ortega-Huerta, A.T. Peterson // *Diversity and Distributions*. – 2004. – Vol. 10, № 1. – P. 39-54.

- 289.** Pakalne, M. Best Practice Book for Peatland Restoration and Climate Change Mitigation. Experiences from LIFE Peat Restore Project / M. Pakalne [et al.]. – University of Latvia, Riga, 2021. –184 p
- 290.** Paris agreement //Report of the Conference of the Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change (21st Session, 2015: Paris). Retrived December. – HeinOnline, 2015. – V. 4. – 27 p.
- 291.** Pearson, R.G. Predicting species distributions from small numbers of occurrence records: a test case using cryptic geckos in Madagascar / R.G. Pearson [et al.] // Journal of Biogeography. – 2007. – Vol. 34, № 1. – P. 102-117.
- 292.** Perkins-Taylor I.E. Predicting the distribution of a rare chipmunk (*Neotamias quadrivittatus oscuraensis*): comparing MaxEnt and occupancy models / I.E. Perkins-Taylor, J.K. Frey //Journal of mammalogy. – 2020. – Vol. 101, № 4. – P. 1035-1048.
- 293.** Petchey, O.L. The ecological forecast horizon, and examples of its uses and determinants / O.L. Petchey [et al.] //Ecology letters. – 2015. – V. 18, № 7. – P. 597-611.
- 294.** Peterson, A.T. Ecological niches and geographic distributions (MPB-49). / A.T. Peterson [et al.] / Monographs In Population Biology. – Princeton University Press, 2011. – 315 c.
- 295.** Phillips, S.J. A maximum entropy approach to species distribution modeling / S.J. Phillips, M. Dudík, R.E. Schapire //Proceedings of the twenty-first international conference on Machine learning. – 2004. – P. 655-662.
- 296.** Phillips, S.J. Maximum entropy modeling of species geographic distributions / S.J. Phillips, R.P. Anderson, R.E. Schapire // Ecological modelling. – 2006. – Vol. 190, № 3-4. – P. 231-259.
- 297.** Phillips, S.J. Opening the black box: An open source release of Maxent / S.J. Phillips, R.P. Anderson, M. Dudík, R.E. Schapire, M.E. Blair // Ecography.– 2017. – Vol. 40, № 7. – P. 887-893.
- 298.** Phillips, S.J. Maxent software for modeling species niches and distributions (Version 3.4.1). / S.J. Phillips, M. Dudík, R.E. Schapire. – 2021. – URL:

05.04.2021).

- 299.** Poggio, L. SoilGrids 2.0: producing soil information for the globe with quantified spatial uncertainty / L. Poggio [et al.] // *Soil*. – 2021. – Vol. 7, №1. – P. 217-240.
- 300.** POWO. Plants of the World Online. Royal Botanic Gardens, Kew. – 2020. – URL: [http:// www.plantsoftheworldonline.org/](http://www.plantsoftheworldonline.org/) (Accessed 16 December 2020).
- 301.** Remya, K. Predicting the current and future suitable habitat distribution of *Myristica dactyloides* Gaertn. using MaxEnt model in the Eastern Ghats, India / K. Remya, A. Ramachandran, S. Jayakumar // *Ecological engineering*. – 2015. – Vol. 82. – P. 184-188.
- 302.** Rodríguez-Castañeda, G. Predicting the fate of Biodiversity using species' distribution models: enhancing model comparability and repeatability / G. Rodríguez-Castañeda, A. R. Hof, R. Jansson, L. E. Harding // *PLoS One*. – 2012. – Vol. 7, № 9. – P. E44402.
- 303.** Rossington, N. Water Availability Influences Species Distributions on Serpentine Soils / N. Rossington, J. Yost, M. Ritter // *Madroño*. – 2018 – Vol. 65, № 2. – P. 68-79.
- 304.** Roura-Pascual, N. Consensual predictions of potential distributional areas for invasive species: a case study of Argentine ants in the Iberian Peninsula / N. Roura-Pascual [et al.] // *Biological Invasions*. – 2009. – Vol. 11, № 4. – P. 1017-1031.
- 305.** Salas, E.A.L. Projected future Bioclimate-envelope suitability for reptile and amphibian species of concern in South Central USA / E.A.L. Salas [et al.] // *Herpetol Conserv Biol*. – 2017. – Vol. 12, № 2. – P. 522-547.
- 306.** Sandanov, D. V., Bioclimatic modeling of *Crossidium squamiferum* (Viv.) Jur. (Pottiaceae, Bryophyta) distribution / D.V. Sandanov, O.Yu. Pisarenko // *Arctoa*. – 2018. – Vol. 27, № 1. – P. 29–33.
- 307.** Sanderson, B.M. A representative democracy to reduce interdependency in a multimodel ensemble. / B.M. Sanderson, R. Knutti, P. Caldwell // *Journal of Climate*. – 2015. – Vol.28, № 13 – P. 5171–5194.

- 308.** Schivo, F. Distribution and richness of amphibians under different climate change scenarios in a subtropical region of South America / F. Schivo, V. Bauni, P. Krug, R.D. Quintana // *Applied Geography*. – 2019. – Vol. 103. – P. 70-89.
- 309.** Soultan, A. Risk of Biodiversity collapse under climate change in the Afro-Arabian region / A. Soultan, M. Wikelski, K. Safi // *Scientific reports*. – 2019. – Vol. 9, № 1. – P. 1-12.
- 310.** Schnase, J.L. Toward a Monte Carlo approach to selecting climate variables in MaxEnt / J.L. Schnase [et al.] // *PloS one*. – 2021. – Vol. 16, № 3. – P. e0237208.
- 311.** Spasojevic, M.J. Patterns of seed dispersal syndromes on serpentine soils: examining the roles of habitat patchiness, soil infertility and correlated functional traits / M.J. Spasojevic, E.I. Damschen, S. Harrison // *Plant Ecology & Diversity*. – 2014. – Vol. 7, № 3. – P. 401-410.
- 312.** Srinivasulu, A. Ecological niche modelling for the conservation of endemic threatened squamates (lizards and snakes) in the Western Ghats / A. Srinivasulu, B. Srinivasulu, C. Srinivasulu // *Global Ecology and Conservation*. – 2021. – Vol. 28. – P. e01700.
- 313.** Swets, J.A. Measuring the accuracy of diagnostic systems / J.A. Swets // *Science*. – 1988. – Vol. 240, № 4857. – P. 1285-1293.
- 314.** Taylor, K.E. An overview of CMIP5 and the experiment design / K.E. Taylor, J.S. Ronald, A.M. Gerald // *Bulletin of the American meteorological Society*. – 2012. – Vol. 93, № 4 – P. 485-498.
- 315.** Tang, C.Q. Potential effects of climate change on geographic distribution of the Tertiary relict tree species *Davidia involucrata* in China / C.Q. Tang [et al.] // *Scientific Reports*. – 2017. – Vol. 7, № 1. – P. 1-18.
- 316.** Thomas, C.D. Extinction risk from climate change / C.D. Thomas [et al.] // *Nature*. – 2004. – Vol. 427, № 6970. – P. 145-148.
- 317.** Thomas, C.D. Protected areas facilitate species' range expansions / C.D. Thomas [et al.] // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2012. – V. 109, № 35. – P. 14063-14068.

- 318.** Thomas, C.D. The performance of protected areas for Biodiversity under climate change / C.D. Thomas, P.K. Gillingham // *Biological Journal of the Linnean Society*. – 2015. – V. 115, № 3. – P. 718-730.
- 319.** Volodin, E.M. Simulating present-day climate with the INMCM4.0 coupled model of the atmospheric and oceanic general circulations / E.M. Volodin, N.A. Dianskii, A.V. Gusev // *Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics*. – 2010. – Vol. 46, № 4. – P. 414-431.
- 320.** Wang, T. Projecting future distributions of ecosystem climate niches: uncertainties and management applications / T. Wang [et al.] // *Forest Ecology and Management*. – 2012. – Vol. 279. – P. 128-140.
- 321.** Watanabe, S. MIROC-ESM: model description and basic results of CMIP5-20c3m experiments / S. Watanabe [et al.] // *Geosci Model Dev Discuss*. – 2011. – Vol. 4, № 2. – P. 1063-1128.
- 322.** Weyant, J. Report of 2.6 versus 2.9 Watts/m² RCP evaluation panel / J. Weyant [et al.] // *Integrated Assessment Modeling Consortium*. – 2009.
- 323.** Webb, D.A. *Schoenus L.* / D.A. Webb // *Flora Europaea*. – 1980. – Vol. 5. – P. 288-289.
- 324.** Wheeler, B.D. An ecological study of *Schoenus ferrugineus L.* in Scotland / B.D. Wheeler, B.S. Brookes, R.A.H. Smith // *Watsonia*. – 1983. – Vol. 14. – № 3. – P. 249-256.
- 325.** Wisz, M.S. Effects of sample size on the performance of species distribution models / M.S. Wisz [et al.] // *Diversity and distributions*. – 2008. – Vol. 14, № 5. – P. 763-773.
- 326.** Yates, K.L. Outstanding challenges in the transferability of ecological models / K.L. Yates [et al.] // *Trends in ecology and evolution*. – 2018. – Vol. 33, № 10. – P. 790-802.
- 327.** Zamborlini Saiter, F. Environmental correlates of floristic regions and plant turnover in the Atlantic Forest hotspot / F. Zamborlini Saiter [et al.] // *Journal of Biogeography*. – 2016. – Vol. 43, № 12. – P. 2322-2331.
- 328.** Zhang, P. Species range shifts in response to climate change and human

pressure for the world's largest amphibian / P. Zhang [et al.] // Science of The Total Environment. – 2020. – Vol. 735 – P. 139543.