

Моделирование перераспределения снежного покрова – ключевого параметра зимних биотопов копытных Дальнего Востока

© 2021 г. О.В. Сухова^{1*}, М.А. Вайсфельд²

¹Естественнонаучный институт Пермского государственного национального исследовательского университета, Пермь, Россия;

²Институт географии РАН, Москва, Россия

*Oks1025@gmail.com

Modeling the redistribution of snow cover in the Russian Far East which is the key parameter of the winter biotopes of hooves

O.V. Sukhova^{1*}, M.A. Vaisfeld²

¹Natural Science Institute of Perm State University, Perm, Russia; ²Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

*Oks1025@gmail.com

Received March 5, 2020 / Revised September 2, 2020 / Accepted December 22, 2020

Keywords: *snow depth, snow in forest, food availability, passability, multispectral image classification, Russian Far East.*

Summary

The properties of snow cover, one of the most important abiotic factors for survivability of animals (mainly hooves) in winter, are considered. To analyze possible consequences of this influence, it was necessary to develop a special parameterization of snow cover properties differing from those used in solving hydrometeorological problems. In this paper we present the biotopic approach to spatial and temporal modeling of the snow depth and structure at the mesoscale level. For this scale level, the main factor determining the snow cover depth and structure is the distribution of plant associations (the vegetation cover) on mountain slopes of different exposure and steepness. Our cartographic model of the vegetation cover was developed based on the results of decoding the hierarchical multispectral satellite images. Each combination of a vegetation type, exposure, and steepness of a slope has its own snow accumulation coefficient, which allows calculation of the snow depth in a particular biotope. We propose to analyze winter animal habitats using two parameters depending on the depth and structure of the snow cover: a passability and the food availability. Similarly to the map of plant associations exerting effect on snow cover, a map of plant communities of forage biotopes of specific animals has been built, and a certain snow depth was assigned to each type. The forage biotopes were ranked according to degree of availability and passability. The proposed approach was applied to modeling the passability and food availability for wild boar and red deer biotopes in the southern spurs of the Bureinsky range in the Russian Far East. The snow accumulation coefficients used in the model were obtained from field surveys carried out in 2016–2018 at 173 sites located on slopes of different exposure and steepness and within different types of plant communities. It has been established that a significant part of the favorable foraging territories of wild boar and deer overlap, that may cause the interspecific competition and increased load on forage biotopes during severe and snowy winters. The model also makes possible to introduce additional parameters such as the energy consumption per movement, composition and quantity of feeds.

Citation: Sukhova O.V., Vaisfeld M.A. Modeling the redistribution of snow cover in the Russian Far East which is the key parameter of the winter biotopes of hooves. *Led i Sneg. Ice and Snow*. 2021. 61 (1): 89–102. [In Russian]. doi: 10.31857/S2076673421010073.

Поступила 5 марта 2020 г. / После доработки 2 сентября 2020 г. / Принята к печати 22 декабря 2020 г.

Ключевые слова: *высота снежного покрова, снег в лесу, доступность кормов, проходимость, дешифрирование лесной растительности, Дальний Восток России.*

Описаны принципы биотопического подхода к пространственно-временному моделированию высоты и структуры снежного покрова для анализа характеристик зимних местообитаний животных на мезомасштабном уровне. Анализ зимних местообитаний предложено проводить на основе двух параметров, зависящих от высоты и структуры снежного покрова: проходимости и доступности. На примере ландшафтов южных отрогов Буреинского хребта Дальнего Востока выполнено моделирование высоты снежного покрова для кормовых биотопов кабанов и благородных оленей. На основе коэффициентов снегонакопления, полученных по результатам полевых исследований, с помощью геоинформационных методов проведена экстраполяция значений высоты снежного покрова, свойственных каждому типу кормового биотопа. Площади кормовых биотопов кабана и благородного оленя ранжированы на доступные, труднодоступные и недоступные. Информация о проходимости и доступности пищевых ресурсов в зимний период позволила проанализировать пространственную структуру кормовых биотопов, оценить их разобщённость и предположить возможные пути зимних миграций животных различных видов.

Введение и постановка проблемы

Снежный покров — один из важных абиотических факторов. Знание пространственного распределения и характеристик снежного покрова позволяет не только оценивать условия существования животных и их популяций в зимний период, но и изучать особенности функционирования бореальных экосистем в целом [1, 2]. Важность комплексного подхода к анализу снежного покрова как экологического фактора обусловлена необходимостью диагностики и динамики его состояния, что даёт возможность спрогнозировать его влияние на животных и механизмы биоценотических взаимодействий.

Снежный покров существенно влияет на жизнедеятельность млекопитающих, коренным образом меняя специфику их передвижения и питания по сравнению с бесснежным периодом. Другими становятся и взаимоотношения между особями одного вида и разных видов. Условно их можно разделить на две группы: сближение (снежный комменсализм) и конкуренция. Из-за воздействия снежного покрова особи одного вида в своей поведенческой активности и в питании могут использовать результаты жизнедеятельности других видов. Например, грызуны или мелкие копытные поедают остатки того, что разрыли из-под снега крупные парнокопытные. Хищники (кошачьи, псовые) нередко перемещаются по тропам, проложенным кабанам [2, 3]. Другая группа взаимодействий — антагонистическая, когда одному виду снег помогает успешнее охотиться за другим, представляющим собой жертву. Так, наст позволяет эффективнее передвигаться и успешнее преследовать добычу настоходящим хищникам. Волки загоняют оленей в глубокий снег, сами передвигаясь при этом по держащему их насту, рысь также по насту может добыть взрослого марала, которого наст не держит, хотя это достаточно редкие случаи [3].

Формализация способности передвижения животных по снегу предложена зоологами в конце 1950-х годов и определялась ими как отношение весовой нагрузки на след к высоте животного на уровне груди ($\text{г/см}^2/\text{см}$). Животные с меньшим показателем «трудности перемещения в снегу» получают преимущество, например тигры по отношению к кабанам и изюблям [4]. Существенное значение для животных имеет не только высота снежного покрова, но и его структура. Например,

горностаи и ласка в снежный период, особенно в морозы, значительную часть времени проводят под снегом, где охотятся на своих основных жертв — мышевидных грызунов, скрываются от пернатых и наземных хищников или просто пережидают сильные морозы [5]. Безусловно, сильно кристаллизованная крупнозернистая толща снежного покрова, да ещё с погребёнными корками, для этих небольших хищников из семейства куньих крайне неблагоприятна. Структура снега, которая формируется в результате частой смены зимних оттепелей с морозами повышенной влажности, особенно отрицательна для леммингов. Снег, лежащий на поверхности земли, становится твёрдым и примерзает к ней. В результате под снежным покровом исчезает свободное пространство, в котором лемминги перемещаются в поисках пищи, а в конце зимы обзаваются потомством.

Наличие снежного покрова изменяет характер и степень антропогенного воздействия на животных. Современные средства передвижения по снегу позволяют человеку посещать малодоступные в другой период территории, создавая не только дополнительный фактор беспокойства, но и увеличивая степень прямой угрозы объектам охоты или промысла. Вместе с тем они нередко создают условия для лучшего продвижения по снежному покрову. Известно, что многие виды млекопитающих предпочитают передвигаться по следам транспортных средств, особенно от снегоходов [3, 6, наши наблюдения].

В зоологической и биогеографической литературе большинство аспектов взаимодействия животных и снежного покрова носит описательный, а иногда и несистематизированный характер. Это обусловлено особенностями зоологических методов наблюдений, имеющих территориальные ограничения и небольшой список видов в рамках одного эксперимента. С развитием информационных технологий и методик геопространственного моделирования появилась потребность получения обобщающих показателей, использующих накопленный эмпирический материал. Для ряда видов млекопитающих построены карты биотопов или созданы модели биоценотических взаимодействий. Такие работы выполнены для популяций карибу (*Rangifer tarandus caribou*) [7], бурого медведя (*Ursus arctos L.*) [8], амурского тигра (*Panthera tigris altaica*) [9], канадской рыси (*Lynx canadensis*) [10],

олени (*Cervus Canadensis*) [11] и др. В то же время акцент на характеристиках снежного покрова и его влиянии на поведенческие особенности, а также внутри- и межвидовые взаимодействия очень важен именно для таёжной зоны, где значительную часть года лежит снежный покров.

К проблемам использования фактора снежного покрова при биотопическом анализе местообитаний относятся сложности формализации и методическая разобщённость. Информация об экологических и биогеоцентрических свойствах снежного покрова традиционно собирается по методикам, созданным для решения задач, связанных в первую очередь с гидрометеорологическим обеспечением хозяйственной деятельности [12, 13], поэтому её пространственно-масштабный уровень иной. Зоологические и биогеографические описания снежного покрова, как уже отмечалось, имеют несистематизированный характер. Современная специфика характеристики зимних местообитаний животных требует *модификации подходов сбора данных и детализации выделения параметров снежного покрова*, отличных от детализации при решении гидрометеорологических задач. В то же время для возможности работы с массовыми данными необходима *большая параметризация*, чем это принято в сложившейся практике зоологических и биогеографических описаний свойств снежного покрова.

В настоящей работе рассматриваются подходы к моделированию основных пространственно-временных параметров снежного покрова для решения задач экологического картографирования и выяснения характеристик зимних местообитаний животных. К таким характеристикам в первую очередь относятся высота и структура снежной толщи. Приведены результаты моделирования пространственно-временного распределения высоты снежного покрова и основные возможности его применения при анализе характеристик зимних местообитаний. Моделирование пространственно-временного распределения высоты снежного покрова выполнено на примере ландшафтов южных отрогов Буреинского хребта Дальнего Востока. Территория относится к Хингано-Буреинской горной системе. Рельеф — среднегорный с перепадами высот 800 м в северной части района исследования и около 400–500 м в южной. Растительность представлена тёмнохвойными и хвойно-широколиственными лесами с участием корейского кедра, вторичных, пре-

имущественно мелколиственных лесов, лугов и болот. Продолжительность периода с устойчивым снежным покровом здесь — около 160 дней. Зимой преобладают ветры западного и северного направлений. Как правило, зимы малоснежные с высотой снежного покрова 20–30 см. В отдельные годы высота снежного покрова может превышать 50–60 см. Моделирование проводилось для уточнения структуры кормовых и транзитных биотопов крупных копытных млекопитающих — кабана и благородного оленя — в зимний период.

Биотопическая роль пространственно-временного перераспределения снежного покрова

Предлагается характеристики зимних местообитаний животных анализировать на основе двух параметров, зависящих от высоты и структуры снежного покрова: проходимости и доступности. Под *проходимостью* понимается физическая способность животного передвигаться по снегу; под *доступностью* — наличие подснежного корма и возможность добычи его животным из-под снега. Оба эти параметра определяются сочетанием высоты снежного покрова и его структуры. Для разных видов млекопитающих чувствительность к предложенным параметрам различна и зависит от их размеров, способов передвижения и добычи пищи. *Мелкие млекопитающие* используют снежную толщу как жизненное пространство, для добывания пищи и в качестве укрытия. *Млекопитающие средних размеров* (зайцеобразные, куньи, мелкие кошачьи, из парнокопытных — мелкие олени, косули) и *крупные копытные* в зимний период используют снег как среду обитания, в большей или меньшей степени затрудняющую передвижение и питание. Толщина и внутреннее строение снежного покрова неоднозначно влияют на представителей этих трёх групп животных. Высокий и рыхлый снег благоприятен для мелких млекопитающих, ведущих *подснежный* образ жизни или перемещающихся нырянием в толщу (полёвки, лемминги, мелкие куньи), тогда как наличие наста или плотной твёрдой корки у земли благоприятнее для млекопитающих средних размеров, способных передвигаться по его поверхности, — *настоходящих*, но затрудняет движение и добычу корма крупным млекопитающим — *надснежным* животным.

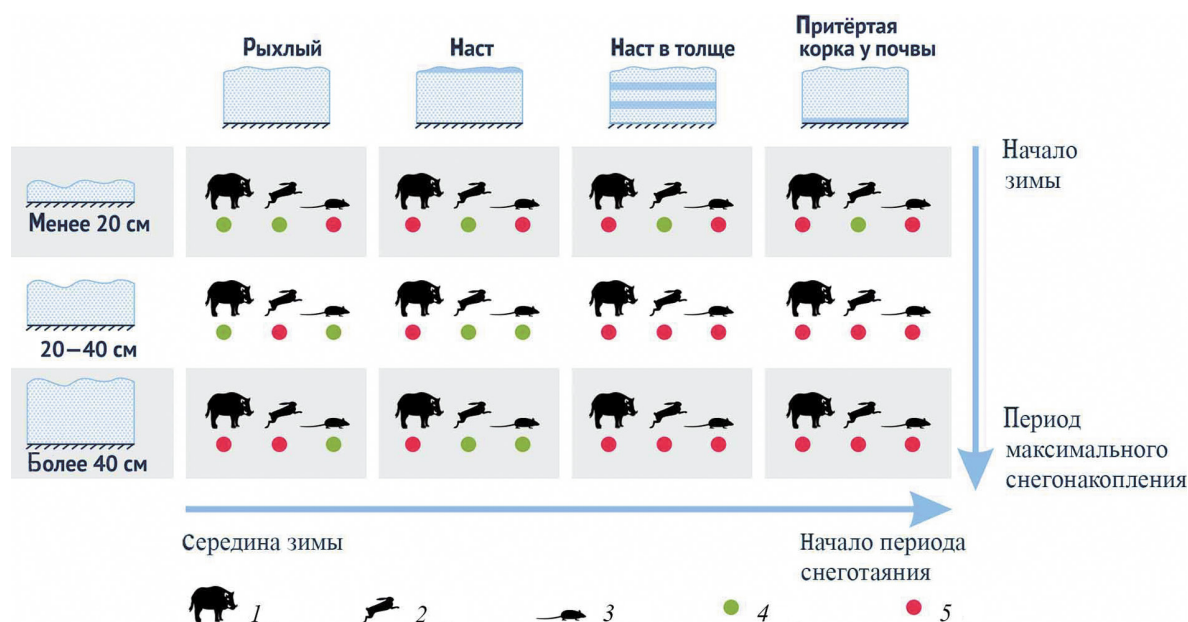


Рис. 1. Схема влияния характеристик снежного покрова на разные группы млекопитающих.

Группы: 1 – надснежные; 2 – настходящие; 3 – подснежные. Влияние: 4 – благоприятно или нейтрально; 5 – неблагоприятно

Fig. 1. Chart of snow cover characteristics influence on the groups of mammals.

Groups of mammals: 1 – oversnow; 2 – snow crust walking; 3 – undersnow. The influence: 4 – auspiciously or neutrally; 5 – inauspiciously

Представленные на рис. 1 вариации соотношений высоты и структуры снежного покрова отражают временной ход факторов снегонакопления: от начала зимы к снеготаянию – в колонках и от начала установления снежного покрова к сезону максимального снегонакопления – в строках. Для настходящих млекопитающих толщина однородного и рыхлого снежного покрова более 20 см затрудняет передвижение, однако наст позволяет передвигаться по нему, не проваливаясь. Противоположное отношение к неглубокому снегу (менее 20 см) у подснежных животных, для которых такой покров неблагоприятен, так как не выполняет теплоизолирующих и маскирующих функций. Это позволяет настходящим хищникам успешнее охотиться на мелких млекопитающих. В период максимального снегонакопления и начала снеготаяния наличие в снежной толще корок и превышение высоты снежного покрова в 40 см негативно влияет на крупных млекопитающих, так как они испытывают затруднения при передвижении, проваливаясь сквозь наст и травмируя конечности, а неравномерное распределение кормов не позволяет минимизировать высокие энергетические затраты на перемещение.

Таким образом, при характеристике зимних биотопов по степени благоприятности для мле-

копитающих, выраженных в параметрах проходимости и доступности, необходимо знать распределение высоты снежного покрова по конкретным местообитаниям, а также особенности его структуры в их границах в течение всего периода снегонакопления. В настоящей работе рассмотрены основные подходы к формализации особенностей высоты и структуры снежного покрова для пространственно-временного моделирования. На их основе показана возможность построения статистической модели пространственно-временного распределения высоты снежного покрова в лесных биоценозах. Практическая реализация части подходов, учитывающих особенность структуры снежного покрова в рассматриваемой модели, остаётся за рамками данной работы.

Принципы биотопического подхода к пространственно-временному моделированию снежного покрова

Поле зимних осадков имеет более гладкую структуру по сравнению с осадками тёплого периода, а синоптические процессы, влияющие на количество осадков, охватывают пространственный масштаб более 300 км², поэтому пло-

Таблица 1. Основные факторы, влияющие на перераспределение зимних осадков и эволюцию снежного покрова на мезомасштабном уровне

Фактор	Специфика воздействия на высоту или структуру снежного покрова	Характерный масштаб
Температура воздуха	Наличие или отсутствие корок, образовавшихся в результате оттепелей	Определяется синоптическими процессами, требует детализации до масштабного уровня модели
Осадки	Высота снежного покрова. Наличие или отсутствие корок, образовавшихся в результате выпадения жидких осадков	
Мезорельеф	Инсоляция и ветровое перераспределение осадков в зависимости от экспозиции и крутизны склонов	Детальность цифровой модели рельефа (ЦМР) – 30 м
Инсоляция склонов	Наличие или отсутствие корок, образовавшихся в результате воздействия солнечной радиации	Детальность ЦМР – 30 м. Детальность контуров с растительным покровом, определяющим степень инсоляции – 30 м
Направление и скорость местных ветров	Высота снежного покрова. Наличие или отсутствие переуплотнённых слоёв, образовавшихся в результате ветрового воздействия	Определяется синоптическими процессами и мезорельефом, требует детализации до масштабного уровня модели
Растительный покров	Высота снежного покрова. Степень инсоляции склонов. Ослабление ветрового перераспределения и переуплотнения	Масштабный уровень модели. Определяет итоговую пространственную детализацию распределения высоты и структуры снежного покрова. Детальность Landsat-8 (30 м)

щадь зимних осадков в 50–100 км² рассматривается как однородное поле [14]. В то же время распределение высоты и структуры снежного покрова неоднородно на мезомасштабном уровне (10 км – 100 м), характеризующем параметры проходимости и доступности зимних биотопов для животных. Неоднородность свойств на этом пространственно-масштабном уровне определяется уже не синоптическими процессами, а особенностями локальных факторов перераспределения выпадающих осадков [15] и факторов, влияющих на эволюцию снежной толщи. Биотопический анализ требует учёта этих факторов для получения информации о неоднородности пространственно-временного распределения высоты и структуры снежного покрова на мезомасштабном уровне. Данные факторы можно разделить на два вида. Первые влияют преимущественно на структуру снежного покрова; вторые – и на высоту, и на структуру (табл. 1). Лесная растительность в значительной степени нивелирует влияние ветрового распределения, колебаний температуры воздуха и инсоляционного воздействия [16, 17]. Тем не менее, разница в распределении свойств снежного покрова на склонах разной экспозиции и крутизны статистически прослеживается и была учтена при выполнении полевых измерений. Таким образом, высота снежного покрова изменяется в разных биотопах главным образом из-за особенностей рельефа и характера растительности.

Внутри лесного массива количество снега определяется типом и сомкнутостью полога древостоя. В хвойном лесу из-за удержания его кронами и последующего испарения снега меньше на 20–30%. Смешанные леса занимают промежуточную позицию [14]. Максимальная толщина снега на залесённых территориях наблюдается на опушках, а также на небольших открытых территориях внутри лесных массивов, редирах, полянах, просеках. Объективная характеристика биотопов возможна при детальности, определяемой размерностью среднестатистического контура растительного сообщества. Выполненные эксперименты показали, что создание пространственной модели структуры биотопов возможно на основе результатов классификации мультиспектрального спутникового изображения с разрешением 30 м. Детальность таких данных показывает структуру биотопов копытных с обособлением контуров природных комплексов и основных типов растительных сообществ, его составляющих. При совмещении с информацией цифровой модели рельефа SRTM достигается исчерпывающий набор данных, описывающий условия снегонакопления в любых географических условиях. При использовании цифровых источников информации детальность биотопической модели ограничена двумя показателями: а) разрешением спутникового изображения, используемого при анализе растительного покрова; б) разрешением

Таблица 2. Коэффициенты снегонакопления, полученные по литературным и собственным полевым наблюдениям для растительных ассоциаций в районе исследования (в скобках указано число площадок, на которых проводились измерения в данной категории)

Уклон, градусы							
0–15	0–15	15–35			Более 35		
Экспозиция							
низина	вершина	С–СВ	Ю–ЮВ, 3–СЗ	Ю–ЮЗ	С–СВ	Ю–ЮВ, 3–СЗ	Ю–ЮЗ
Тип растительности							
спелый и приспевающий лиственный лес							
1*(15)	1,32(4)	1,10(7)	1,37(7)	0,94(3)	1,17(4)	0,94(3)	0,60(9)
спелый и приспевающий смешанный лес							
0,78*(7)	1,51(2)	1,21(6)	0,94(5)	0,81(7)	0,68(3)	0,72(5)	0,72(6)
спелый и перестойный хвойный лес							
0,63*(10)	1,13(5)	0,48(17)	0,68(8)	0,43(3)	0,68(2)	0,55(4)	0,41(1)
молодой лиственный лес, редины и опушки, в том числе других типов леса, кустарниковые ассоциации открытых территорий							
1,42(9)	1,51(3)	1,20(3)	1,25(1)	1,15(2)	1,14(2)	1,09(3)	0,86(2)
территории с отсутствием древесного и кустарникового растительного покрова протяжённостью более 200 м							
0,66*(5)				—			

*Литературные данные [14, 21–23].

цифровой модели рельефа, используемой для характеристики элементов рельефа.

На исследуемой территории, согласно перечню позвоночных животных заповедника «Бастак» [18], обитают следующие виды копытных: кабан (*Sus scrofa* L.), кабарга (*Moschus moschiferus* L.), изюбрь (*Cervus elaphus xanthopygus*), сибирская косуля (*Capreolus pygargus*) и лось (*Alces alces* L.). Лось и кабарга в соответствии с перечнем отнесены к редким для данной территории видам. Сибирская косуля зимой мигрирует за пределы рассматриваемой области, поэтому в настоящей работе для моделирования предпочитаемых биотопов использованы сведения о кабанах и изюбрых как наиболее массовых и типичных видах.

Для установления пищевых предпочтений и ограничений передвижения копытных в зимний период использованы литературные данные [1, 19, 20], согласно которым на спутниковых снимках были выделены растительные ассоциации, наиболее часто посещаемые кабанами и оленями в поисках корма зимой. Параметр *доступность* в таких ассоциациях считался благоприятным по умолчанию. Параметр *проходимость* определялся по превышению критического для каждого вида значения высоты снежного покрова. Результаты моделирования представляли собой карту превышения/непревышения критических высот снега в границах контуров каждого типа растительности, входящего в кормовой биотоп кабанов и бла-

городных оленей. Таким образом получали пространственную характеристику разных степеней проходимости и доступности для копытных в зависимости от характера снежного покрова.

Моделирование пространственно-временного распределения высоты снежного покрова выполнялось с помощью определения и введения коэффициентов снегонакопления (табл. 2) в контур каждого типа растительности, составляющего зимний кормовой биотоп исследуемых видов. Коэффициенты снегонакопления определяли как отношение высоты снежного покрова в одной ландшафтной фации, принятой за единицу, к высоте снежного покрова в других ландшафтных фациях. Конкретный биотоп устанавливался исходя из экологических задач: в данной работе это – зимние кормовые биотопы рассматриваемых видов, в первую очередь, хвойно-широколиственные леса с наличием желудёво-орехового корма, веточного корма и корневищ. Также были выделены биотопы с зимнезелёными кустарничками и хвощевые фации пойменной растительности.

В качестве входного значения при моделировании перераспределения высоты снежного покрова может быть использовано любое наблюденное значение высоты снежного покрова, если оно отвечает ряду условий, а именно: известна его принадлежность к одному из типов ландшафтных фаций, для которой определён коэффициент снегонакопления (см. табл. 2);

расстояние до исследуемой территории не превышает 50–100 км (участок, где измеряется высота снежного покрова, находится в границах одной биоклиматической провинции с участием исследования). С учётом этих условий при моделировании можно использовать данные ближайших метеостанций, а также маршрутных полевых наблюдений. В настоящей работе для решения задач экологического картографирования взяты справочные значения высоты снежного покрова, которые являются критическими для изучаемых видов животных. В этом случае результатом моделирования будет разработка пространственной структуры пороговых значений высоты снежного покрова (когда значение высоты снежного покрова больше или равно критическому), ограничивающей физическое перемещение животных в поисках корма.

Результаты моделирования пространственно-временного распределения высоты снежного покрова применительно к анализу зимних биотопов копытных

Коэффициенты снегонакопления в ландшафтных фациях определяли в процессе полевых исследований 2016–2018 гг. на территории южных отрогов Буреинского хребта и в северной части Малого Хингана на 173 площадках. При выборе площадок для измерений принимали во внимание экспозицию и крутизну склонов, неоднородность элементов микрорельефа и неравномерность распределения уже выпавшего снежного покрова под пологом различных лесных сообществ. Наблюдения были двух типов: а) на площадке — для набора статистических данных, характеризующих связь высоты снега с типом растительности в стабильных однородных условиях; б) измерения на трансекте — для статистического описания высоты снега в зонах градиента при переходе от одного типа снегонакопления к другому на различных участках. На площадках выполняли серию измерений снегомерной рейкой в пределах квадрата 15×15 м, всего в периметре проводили 10–15 измерений. Число измерений зависело от визуальной неоднородности снега по толщине. В местах с большей неоднородностью измерений делали больше. Также на площадке наблюдали за плотностью снежного

покрова [24] с последующим вычислением снегозапаса и описанием стратификации снежной толщи, степени перекристаллизации слоёв снега, а также наличия или отсутствия наста, притёртых и взвешенных корок, следов ветрового переноса и переуплотнения. Эти данные предполагали включить в модель пространственно-временного распределения структуры снежного покрова. Точки измерений располагали случайным образом в пределах выбранного квадрата для обеспечения стохастичности измерений. На трансекте измеряли только высоту снежного покрова по линейному маршруту. Данные на таких линиях не усредняли, а использовали для уточнения и верификации коэффициентов снегонакопления, полученных на площадках, а также характеристик изменений высоты снежного покрова при переваливании водоразделов со стороны склонов разной экспозиции и крутизны.

Результаты наблюдений *по экспозиции* разделены на три составляющие: а) северные и северо-восточные склоны с преобладанием более глубокого снега при отсутствии корок; б) склоны Ю-ЮЗ экспозиции с наименьшей высотой снежного покрова и наибольшей вероятностью наличия снежных корок; в) склоны с переходными свойствами — В-ЮВ и З-СЗ экспозиций. *По крутизне* склоны делили на пологие ($0-15^\circ$), средние ($15-35^\circ$) и крутые (более 35°).

В основу моделирования легла цифровая типологическая карта лесной растительности, составленная авторами по спутниковым снимкам. Для картографирования растительных ассоциаций были подобраны космические изображения спутника Landsat-8 за два сезона года (3 мая и 15 сентября 2015 г.). Для классификации изображения использован метод нейронных сетей Кохонена [15, 25, 26]. Параллельная обработка нескольких разновременных, геометрически совмещённых многозональных изображений позволила определить значения спектральных яркостей: прямых характеристик полога древостоя первого яруса (для летнего снимка) и двух-трёх ярусов насаждения (для зимнего снимка). Для обучения классификационного алгоритма выбирались окрестности исходя из максимального охвата всего разнообразия признаков дешифрирования лесного покрова территории и с учётом их зонально-провинциальной специфики. Все пиксели мультиканальных спутниковых изображений в результате классификации были

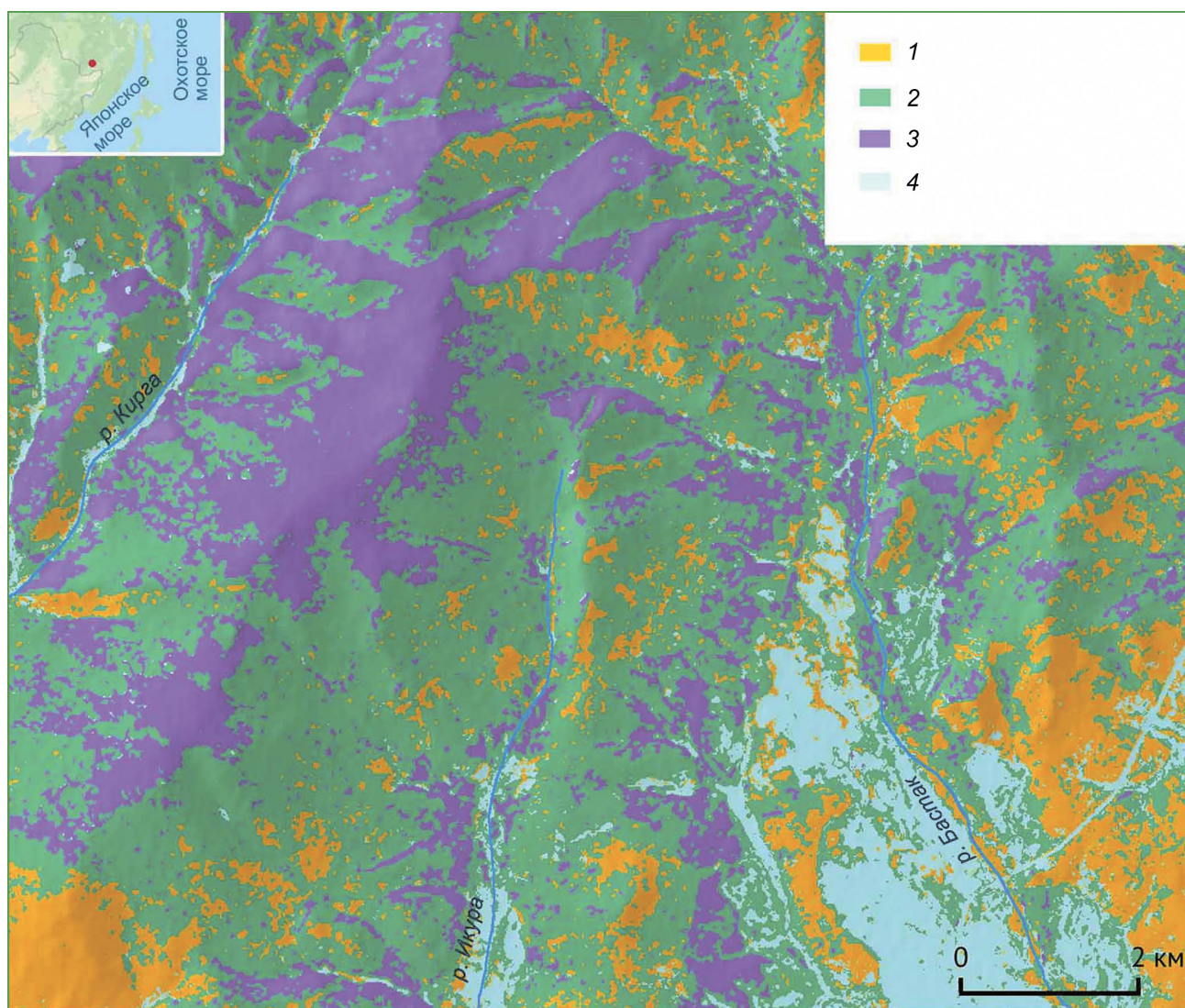


Рис. 2. Растительные ассоциации южных отрогов Буреинского хребта, по-разному влияющие на перераспределение снежного покрова:

1 – спелый и приспевающий лиственный лес; 2 – спелый и приспевающий смешанный лес; 3 – спелый и перестойный хвойный лес; 4 – молодой лиственный лес, редины и опушки, в том числе других типов леса, кустарниковые ассоциации открытых территорий

Fig. 2. Plant associations the southern spurs of the Bureinsky ridge with the different types of snow accumulation:

1 – medium-age deciduous forest; 2 – medium-age mixed forest; 3 – old-grown coniferous forest; 4 – young deciduous forest, open spaces and edges, including other types of forest, shrub associations of open areas

отнесены к одному из 30 классов растительности, типичной для района исследования. В дальнейшем эти классы группировали для построения картографических моделей влияния растительных ассоциаций на перераспределение снежного покрова, а также пространственную локализацию кормовых биотопов кабана и изюбря.

Для моделирования снежного покрова выделены следующие пять типов растительных ассоциаций: а) спелый и приспевающий лиственный

лес; б) спелый и приспевающий смешанный лес; в) спелый и перестойный хвойный лес; г) молодой лиственный лес, редины и опушки, в том числе других типов леса, кустарниковые ассоциации открытых территорий; д) территории с отсутствием древесного и кустарникового растительного покрова протяжённостью более 200 м. Эти растительные ассоциации универсальны по структуре и могут быть выделены во всех провинциях таёжной зоны. На рис. 2 представлен

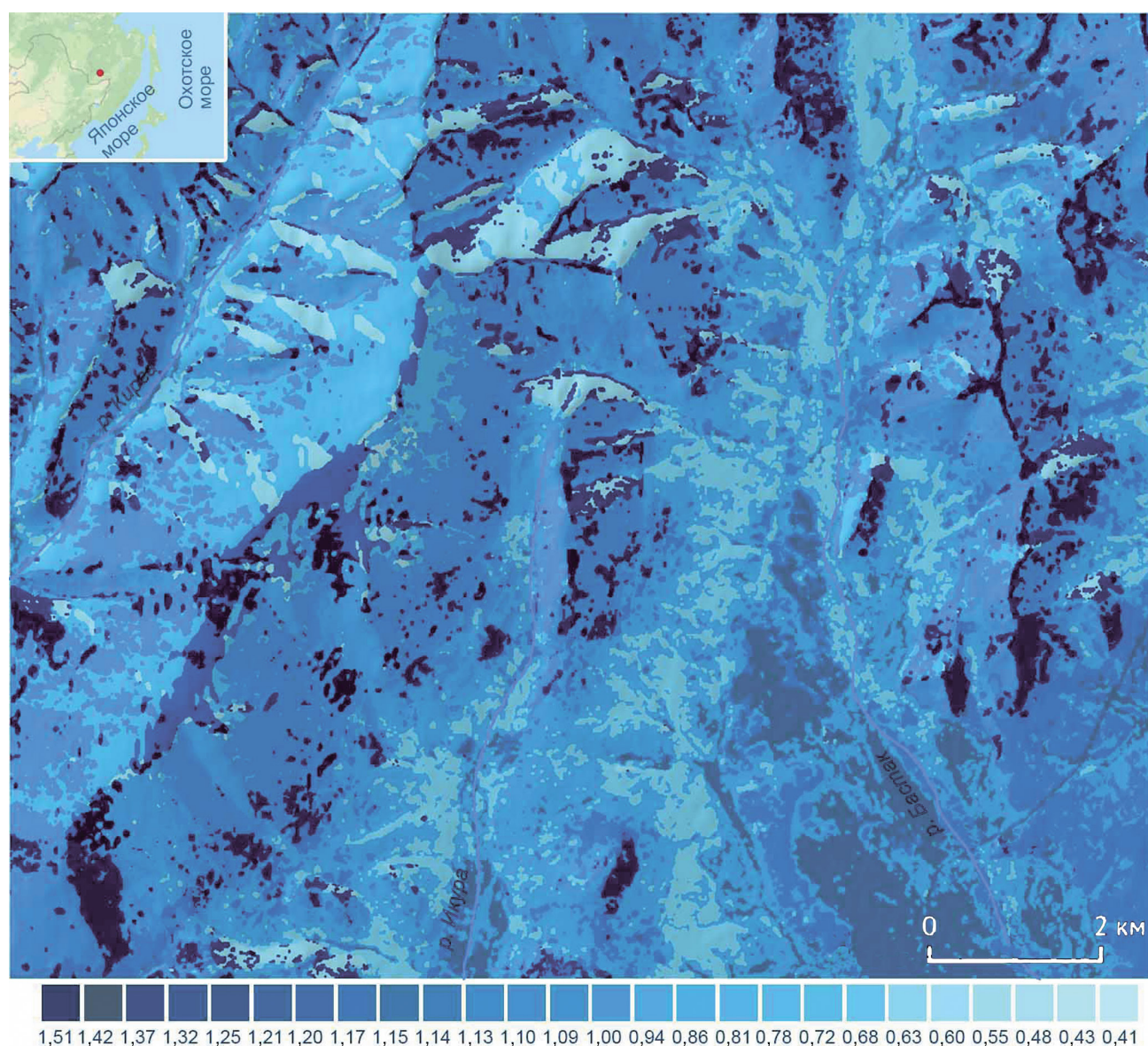


Рис. 3. Распределение повышающих и понижающих коэффициентов снегонакопления в зависимости от свойств подстилающей поверхности (см. рис. 2) на территории южных отрогов Буреинского хребта

Fig. 3. The distribution increasing and decreasing snow depth coefficients depending of underlying surface (see Fig. 2) the southern spurs the Bureinsky ridge

участок исследуемой территории с четырьмя из пяти приведённых здесь типов растительных ассоциаций. Распределение повышающих или понижающих значение высоты снежного покрова коэффициентов снегонакопления зависит от выделенных растительных ассоциаций (см. рис. 2), а также от геоморфологических параметров — экспозиции и крутизны склонов. Таким образом, после классификации и группировки её результатов поле пространственного распределения высоты снежного покрова будет дифференциро-

вано на мезомасштабном уровне во множество контуров ландшафтных фаций (рис. 3).

Полученные коэффициенты снегонакопления сравнивали с литературными данными [14, 21–23]. Поскольку такого рода исследования проводили в разных физико-географических районах и в зимы с разным типом снежности, важно было принципиальное соответствие соотношений коэффициентов снегонакопления в сходных ландшафтных фациях. Там, где были найдены аналоги, коэффициенты снегонакопления сравнивали с

коэффициентами, полученными нами, такие данные отмечены звёздочкой в табл. 2. Коэффициенты снегонакопления справедливы для средне-снежной зимы, многоснежные зимы отличаются большей сглаженностью пространственного распределения высоты снежного покрова [14], мало-снежные зимы значительно не влияют на параметры проходимости и доступности.

Для выборки, полученной при полевых измерениях, рассчитаны средние значения высоты снежного покрова в разных ландшафтных фациях. В спелом и приспевающем лиственном лесу высота снежного покрова составила 42 ± 7 см; в спелом и приспевающем смешанном лесу — 32 ± 4 см; в спелом и перестойном хвойном лесу — 21 ± 5 см; на редирах и опушках — 45 ± 6 см. Затем значения высоты снежного покрова в тех же ландшафтных фациях были получены по данным моделирования с использованием в качестве входного параметра средней высоты снежного покрова по данным стационарных наблюдений на ближайших метеостанциях (Смидович, Облучье и Биробиджан) в период работ. Таким образом, при входном значении 30,7 см высота снежного покрова в спелом и приспевающем лиственном лесу составила 46 см; в спелом и приспевающем смешанном лесу — 36 см; в спелом и перестойном хвойном лесу — 29 см; на редирах и опушках — 66 см. Значительное расхождение между наблюденными значениями (45 ± 6 см) и значениями, полученными по результатам расчётов (66 см) в контурах луговой и кустарниковой растительности опушек, объясняется наибольшей неоднородностью данного класса по сравнению с распределением высоты снежного покрова в других растительных сообществах. Кроме того, открытые пространства опушек, в отличие от лесопокровых территорий, не снижают влияния экспозиции и крутизны склонов, что также даёт больший разброс результатов (см. табл. 2).

Для моделирования зимних кормовых биотопов кабанов предложена следующая структура выделения объектов (рис. 4, а): а) участки обильно плодоносящих дубрав; б) участки смешанных лесов с преобладанием желудёво-орехового корма и корневищ; в) участки обильно плодоносящих кедровых лесов; г) участки со смешанным типом кормов; д) участки пойменной лесной растительности с преобладанием хвощовых кормов. Для моделирования зимних кормовых биотопов

изюбря предложена другая структура выделения объектов (см. рис. 4, б): а) участки широколиственных лесов с преобладанием веточного и желудёвого корма, а также с примесью хвощей; б) участки обильно плодоносящих хвойно-широколиственных лесов; в) участки обильно плодоносящих кедровых лесов, чередующихся с комплексом полей с зимнезелёными кустарничками.

Анализировалась типичная для экологических исследований ситуация, когда зоолог получает справочное значение необходимого ему метеопараметра и использует его для характеристики интересующих объектов. В качестве входных значений в модель пространственно-временного перераспределения высоты снежного покрова были введены справочные данные о критических для перемещения животных величинах этого параметра. Для передвижения и добычи пищи кабаном они составили 30–40 см, а для изюбрей — 50–60 см [1, 19, 20]. Фактические данные о достижении критических величин, как правило, берутся из официальных данных сети Росгидромета. Детальность этих данных для территорий, изучаемых зоологами, низка из-за факторов рельефа, растительности, удалённости от ближайшей метеостанции. С помощью представленной в работе модели можно снять часть неопределённостей и уточнить высоту снежного покрова в любой интересующей исследователя точке или местности. Принимая во внимание необходимость уточнения коэффициентов снегонакопления при использовании в другом физико-географическом регионе и получив входные данные, мы с помощью коэффициентов снегонакопления присваиваем в ГИС конкретное значение высоты снежного покрова каждому типу кормового биотопа. На рис. 4, в, г красным цветом выделены биотопы, потенциально привлекательные по пищевым ресурсам для рассматриваемых видов копытных, но недоступные из-за наличия глубокого снежного покрова. Это позволяет нам оценить сезонную фрагментацию биотопа по условиям снегонакопления, а также проанализировать, насколько сближены или разрежены благоприятные его фрагменты. Результаты моделирования также дают возможность ответить на ряд вопросов: какова площадь биотопов с благоприятными параметрами по проходимости и доступности; насколько сокращается число реализуемых переходов от одного кормового биотопа к

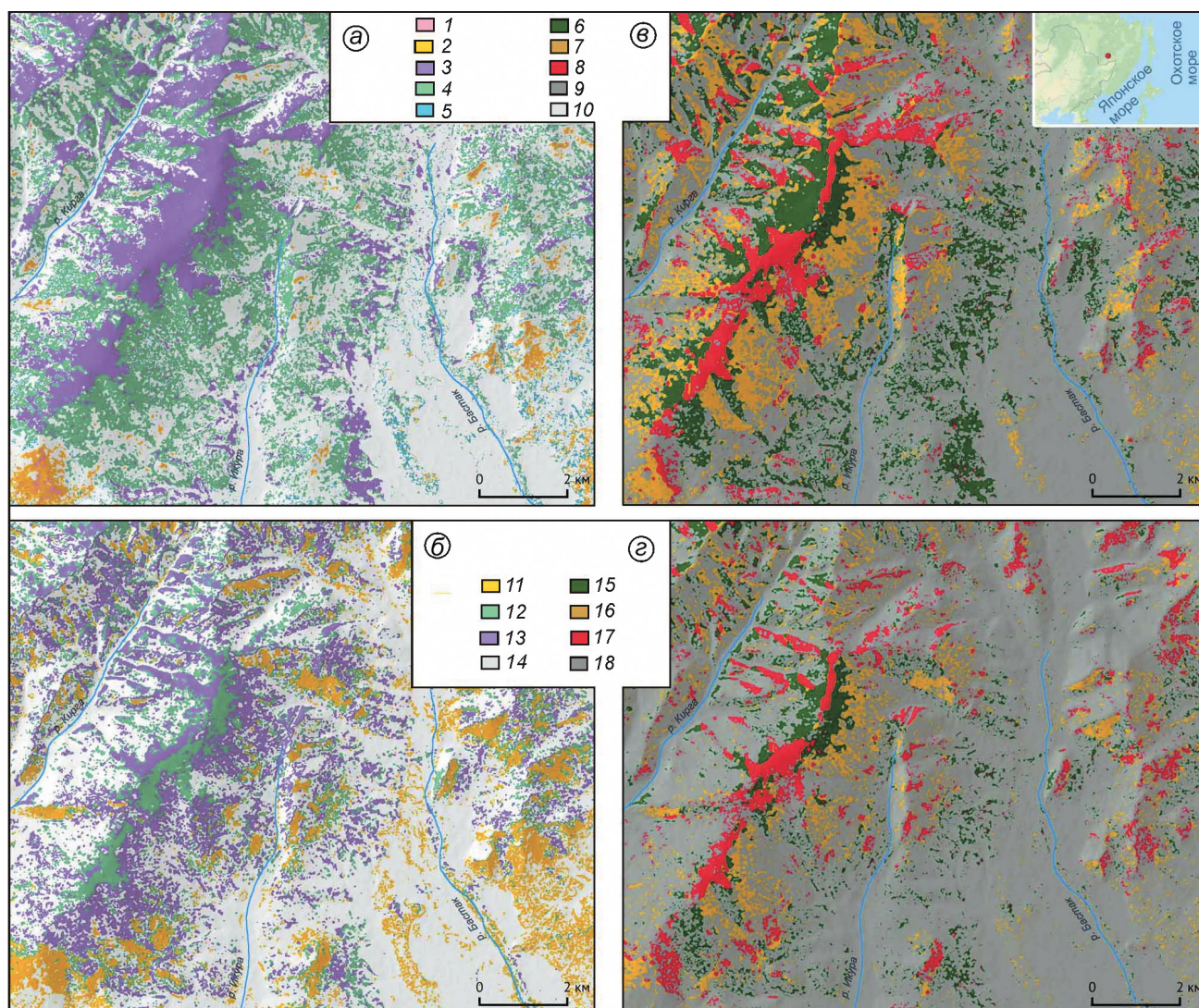


Рис. 4. Ранжирование кормовых биотопов копытных по степени проходимости на территории южных отрогов Буреинского хребта:

а – кормовые биотопы кабана в зимний период; *б* – кормовые биотопы оленей в зимний период; *в* – ранжирование биотопов для кабанов; *г* – ранжирование биотопов для оленей.

Рассмотрены ситуации, когда базовое значение высоты снежного покрова при моделировании равно критическому для каждого вида копытных (для кабана – 30–40 см, для оленя – 50–60 см). 1 – участки обильно плодоносящих дубрав; 2 – участки смешанных лесов с преобладанием желудёво-орехового корма и корневищ; 3 – участки обильно плодоносящих кедровых лесов; 4 – участки со смешанным типом кормов; 5 – участки пойменной лесной растительности с преобладанием хвощовых кормов; 6, 10, 14, 18 – другие типы подстилающей поверхности; 7, 15 – доступные кормовые биотопы; 8, 16 – труднодоступные кормовые биотопы; 9, 17 – недоступные кормовые биотопы; 11 – участки широколиственных лесов с преобладанием веточного и желудёвого корма, а также с примесью хвощей; 12 – участки обильно плодоносящих хвойно-широколиственных лесов; 13 – участки обильно плодоносящих кедровых лесов, чередующихся с комплексом полей с зимнезелёными кустарничками

Fig. 4. Ranking the auspicious habitats maps by the passability and the food availability the southern spurs of the Bureinsky ridge:

a – plant associations – the food sources for wild boar in winter season; *б* – plant associations – the food sources for red deer in winter season; *в* – ranking the habitats maps for wild boar; *г* – ranking the habitats maps for red deer.

Situations are considered when the snow depth base value during modeling is critical for each ungulate species (for a wild boar 30–40 cm, for a deer 50–60 cm). 1 – areas with fruit-bearing oak grove; 2 – mixed forest areas with predominant acorns, nuts and rhizomes; 3 – areas with fruit-bearing cedar forest; 4 – mixed food areas; 5 – floodplain forest areas with predominance equisetum food; 6, 10, 14, 18 – other area type; 7, 15 – high passability and the food availability; 8, 16 – low passability and the food availability; 9, 17 – inaccessible passability and the food availability; 11 – mixed forest areas with predominance twigs and acorns as a food, by places equisetum; 12 – areas with fruit-bearing coniferous-broadleaf forest; 13 – areas with fruit-bearing cedar forest alternate with glades of winter-green prostrate shrubs

другому; что повышает предсказуемость маршрутов копытных и соответственно увеличивает риск добычи животных хищниками или человеком.

Отметим, что значительная часть благоприятных кормовых территорий кабанов и оленей совпадает. Это может привести к межвидовой конкуренции за кормовые ресурсы в суровые многоснежные зимы. Наиболее благоприятные участки для обоих видов копытных — хвойные и хвойно-широколиственные леса на западных макросклонах южных отрогов Буреинского хребта. Биотопы пойменной растительности в долинах малых рек Икура и Бастак сильно фрагментированы, что увеличивает энергозатраты на переходы между кормовыми участками, делая их, вероятно, энергетически не выгодными. Для уверенного заключения о возможных энергозатратах на перемещение в транзитных зонах необходимы дополнительные исследования этого аспекта. Участки широколиственного леса и редколесий, несмотря на наличие кормов, в многоснежные зимы недоступны для обоих видов копытных. Тем не менее, для труднопроходимых участков, выделенных жёлтым цветом на рис. 4, в, г, возможна прокладка троп кабанам с последующим копычением и переработкой снежной толщи совместными усилиями всего стада. Результатами этого воздействия на снежную толщу могут пользоваться другие копытные. Часть биотопов, используемая обоими видами в силу ограниченного доступа к другим участкам, испытывает повышенную нагрузку, что также необходимо учитывать при расчёте кормовой ёмкости биотопа.

Итог всего комплекса работ по оценке неоднородностей снегонакопления в условиях таёжной зоны — цифровая картографическая модель биотопов, потенциально используемых этими животными в зимний период. При низкой степени антропогенного воздействия на леса такая модель может применяться исследователями в течение 5–10 лет. После этого она потребует актуализации изменений в структуре и составе растительных сообществ, вызванных их развитием, приспеванием и старением.

Обсуждение и выводы

В зимний период значительные площади кормовых территорий рассматриваемых видов копытных становятся недоступными из-за развития глубокого снежного покрова. Отдельные

кормовые территории представляют собой изолированные анклав, окружённые труднопроходимыми участками. Из-за этого часть площадей кормовых биотопов становится малопригодной для изучаемых животных. Это требует перерасчёта запасов кормов при прогнозе условий перезимовки копытных в зимы разной снежности.

Уровень пространственной детализации метеорологической информации, получаемой на метеостанциях, недостаточен для анализа зимних кормовых биотопов копытных на мезомасштабном уровне. Распределение высоты и структуры снежного покрова в одном и том же типе биотопа сильно меняется в течение всего периода снегонакопления. Разработка принципов и подходов получения коэффициентов снегонакопления для растительности конкретного физико-географического района с последующим их уточнением позволит не только детализировать пространственно-временное распределение высоты снежного покрова, но и исследовать пространственные закономерности поведения животных, связанные с поиском пищи и миграциями в зимний период. Информация о проходимости и доступности пищевых ресурсов в зимний период даст возможность анализировать пространственную структуру кормовых биотопов, оценивать их сближенность и выдвигать предположения о вероятных путях миграции животных различных видов. Возможны и оценка уровня конкуренции за пищевые ресурсы при совпадении значительного числа благоприятных биотопов у разных видов, и ранжирование территории по энергозатратам животных на перемещение по ним.

Картографическое представление ранжированных по степени доступности и проходимости кормовых биотопов отображает генерализованную структуру пространственных меж- и внутривидовых взаимодействий в зимний период. Работа с информацией разного временного и масштабного ранга позволяет получать более детализированное представление о пространственной организации структуры биотопов по сравнению с традиционными описаниями. Модель пространственно-временного распределения высоты снежного покрова может быть реализована для любой залесённой территории с постоянным снежным покровом в холодное время года. Дополнительно требуются проведение верификационных полевых измерений снежного покрова и построение карты целевых биотопов.

Модель пространственно-временного распределения высоты снежного покрова разработана с учётом последующего ввода блока структуры снежного покрова, содержащего анализ факторов температуры, осадков и инсоляционного воздействия. Биотопическое моделирование на основе результатов классификации космических снимков открывает широкие возможности ввода дополнительных параметров, необходимых для изучения пространственного поведения животных в зависимости от типа

зимы, урожайности кормов или факторов беспокорства, в том числе антропогенного характера.

Благодарности. Работа выполнена по гранту РФФИ № 18-05-60057 «Позеленение» тундры как драйвер современной динамики арктической биоты».

Acknowledgments. The work was supported by the Russian Foundation for Basic Research, grant № 18-05-60057 «The tundra «greening» as a driver of the Arctic biota modern dynamics».

Литература

References

1. Насимович А.А. Роль режима снежного покрова в жизни копытных животных на территории СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 403 с.
2. Формозов А.Н. Снежный покров как фактор среды, его значение в жизни млекопитающих и птиц СССР. М.: Изд-во МГУ, 1990. 287 с.
3. Собанский Г.Г. Звери Алтая. Ч. 1. Крупные хищники и копытные. Новосибирск—Москва: Товарищество научных изданий КМК, 2008. 414 с.
4. Юдаков А.Г., Николаев И.Г. Экология амурского тигра. По зимним стационарным наблюдениям 1970—1973, 1996—2010 гг. в западной части Среднего Сихотэ-Алиня. Владивосток: Дальнаука, 2002. 202 с.
5. Вайсфельд М.А. Горностай. Европейский Север. Северо-восток // Колонок, горностай, выдра. Размещение запасов, экология, использование и охрана. Сер. Промысловые животные СССР и среда их обитания. М.: Наука, 1977. С. 92—108.
6. Баскин Л.М., Охлопков И.М. Охрана крупных млекопитающих от индустриальных угроз. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2010. 201 с.
7. Johnson C.J., Seip D.R., Boyce M.S. A quantitative approach to conservation planning: using resource selection functions to map the distribution of mountain caribou at multiple spatial scales // Journ. of Applied Ecology. 2004. V. 41. Is. 2. P. 238—251. doi: 10.1111/j.0021-8901.2004.00899.x.
8. Ziolkowska E., Ostapowicz K., Radeloff V.C., Kuemmerle T., Sergiel A., Zwijacz-Kozica T., Zięba F., Śmietana W., Selva N. Assessing differences in connectivity based on habitat versus movement models for brown bears in the Carpathians // Landscape Ecology. 2016. V. 31. Is. 8. P. 1863—1882. doi: 10.1007/s10980-016-0368-8.
9. Добрынин Д.В., Рожнов В.В., Савельев А.А., Сухова О.В., Ячменникова А.А. Комплексирование данных мечения животных GPS-передатчиками и материалов мультиспектральной космической съемки для детальной характеристики местообитаний // Исследования Земли из космоса. 2017. № 3. С. 40—52. doi: 10.7868/S0205961417030022.
10. Holbrook J.D., Squires J.R., Olson L.E., DeCesare N.J., Lawrence R.L. Understanding and predicting habitat for wildlife conservation: the case of Canada lynx at the range periphery // Ecosphere. 2017. V. 8. Is. 9. e01939. doi: 10.1002/ecs2.1939.
1. Nasimovich A.A. Rol rezhima snezhnogo pokrova v zhizni kopytnykh zhivotnykh na territorii SSSR. The role of snow regime in the ungulates life in the USSR. Moscow: USSR Academy of Sciences, 1955: 403 p. [In Russian].
2. Formozov A.N. Snezhnyi pokrov kak faktor sredy, ego znachenie v zhizni mlekopitayushchikh i ptits SSSR. Snow cover as an environmental factor, its significance in the mammals and birds life of the USSR. Moscow: MSU, 1990: 287 p. [In Russian].
3. Sobanskii G.G. Zveri Altaya. Chast 1. Krupnye khishchniki i kopytnye. Animals of Altai. Part 1. Large predators and ungulates. Novosibirsk—Moscow: KMK Scientific Press Ltd., 2008: 414 p. [In Russian].
4. Yudakov A.G., Nikolaev I.G. Ekologiya amurskogo tigra. Po zimnim statsionarnym nablyudeniya 1970—1973, 1996—2010 gg. v zapadnoy chasti Srednego Sikhote-Alinya. Ecology of the Amur tiger. According to winter stationary observations 1970—1973, 1996—2010. in the western part of Middle Sikhote Alin. Vladivostok: Dalnauka, 2002: 202 p. [In Russian].
5. Vaisfeld M.A. Gornostai. Ermine. European North. Northeast. Kolonok, gornostai, vydra. Razmeshchenie zapasov, ekologiya, ispolzovanie i okhrana. Ser. Promyslovye zhivotnye SSSR i sreda ikh obitaniya. Column, ermine, otter. Stocking, ecology, use and protection. Ser. Commercial animals of the USSR and their habitat. Moscow: Science, 1977: 92—108. [In Russian].
6. Baskin L.M., Okhlopov I.M. Okhrana krupnykh mlekopitayushchikh ot industrialnykh ugroz. Protection of large mammals from industrial threats. Moscow: KMK Scientific Press Ltd., 2010: 201 p. [In Russian].
7. Johnson C.J., Seip D.R., Boyce M.S. A quantitative approach to conservation planning: using resource selection functions to map the distribution of mountain caribou at multiple spatial scales. Journ. of Applied Ecology. 2004, 41 (2): 238—251. doi: 10.1111/j.0021-8901.2004.00899.x.
8. Ziolkowska E., Ostapowicz K., Radeloff V.C., Kuemmerle T., Sergiel A., Zwijacz-Kozica T., Zięba F., Śmietana W., Selva N. Assessing differences in connectivity based on habitat versus movement models for brown bears in the Carpathians. Landscape Ecology. 2016, 31 (8): 1863—1882. doi: 10.1007/s10980-016-0368-8.
9. Dobrynin D.V., Rozhnov V.V., Saveliev A.A., Sukhova O.V., Yachmennikova A.A. Integration of Satellite Tracking Data and Satellite Images for Detailed Characteristics of Wildlife Habitats. Izvestiya, Atmospheric and Oceanic Physics. 2017, 53 (9): 1060—1071. doi: 10.1134/S0001433817090080.
10. Holbrook J.D., Squires J.R., Olson L.E., DeCesare N.J., Lawrence R.L. Understanding and predicting habitat for wildlife conservation: the case of Canada lynx at the range periphery. Ecosphere. 2017, 8 (9). e01939. doi: 10.1002/ecs2.1939.

11. Rickbeil G.J.M., Merkle J.A., Anderson G., Atwood M.P., Beckmann J.P., Cole E.K., Courtemanch A.B., Dewey S., Gustine D.D., Kauffman M.J., McWhirter D.E., Mong T., Proffitt K., White P.J., Middleton A.D. Plasticity in elk migration timing is a response to changing environmental conditions // *Global Change Biology*. 2019. V. 25. Is. 7. P. 2368–2381. doi: 10.1111/gcb.14629.
12. Гельфан А.Н., Морейдо В.М. Описание макромасштабной структуры поля снежного покрова равнинной территории с помощью динамико-стохастической модели его формирования // *Лёд и Снег*. 2015. Т. 55. № 4. С. 61–72. doi: org/10.15356/2076-6734-2015-4-61-72.
13. Китаев Л.М., Тихонов В.В., Титкова Т.Б. Точность воспроизведения по спутниковым данным аномальных значений снегозапасов // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2017. Т. 14. № 1. С. 27–39. doi: 10.21046/2070-7401-2017-14-1-27-39.
14. Кузьмин П.П. Формирование снежного покрова и методы определения снегозапасов. Л.: Гидрометеоиздат, 1960. 167 с.
15. Сухова О.В. Создание карты лесной растительности для моделирования снегонакопления на территории Пермского края // *Вестн. Удмуртского ун-та. Биология. Науки о Земле*. 2013. Вып. 4. С. 132–139.
16. Рихтер Г.Д. Снежный покров, его формирование и свойства. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1945. 118 с.
17. Коломыц Э.Г. Теория эволюции в структурном снеговедении. М.: ГЕОС, 2013. 482 с.
18. Позвоночные животные заповедника «Бастак» (Российская Федерация) и заповедника «Хунхэ» (Китайская Народная Республика). Хабаровск: Антар, 2017. 117 с.
19. Матюшкин Е.Н. Избранные труды. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2005. 660 с.
20. Стивенс Ф.А., Заумysłова О.Ю., Астафьев А.А., Хэйвард Г.Д., Микелл Д.Дж. Анализ динамики населения копытных в Сихотэ-Алиньском биосферном заповеднике. Владивосток: Дальнаука, 2012. 164 с.
21. Дыгало В.С. Распределение снежного покрова на водосборе р. Медвенки // *Тр. Центрального института прогнозов*. 1961. Вып. 134. С. 29–37.
22. Обидин А.А. Текущий прирост сосновых снегополос и снегонакопление // *Вестн. Алтайского госуд. аграрного ун-та*. 2012. № 10 (96). С. 59–61.
23. Сосновский А.В., Осокин Н.И., Черняков Г.А. Динамика снегозапасов на равнинной территории России в лесу и в поле при климатических изменениях // *Лёд и Снег*. 2018. Т. 58. № 2. С. 183–190. doi: 10.15356/2076-6734-2018-2-183-190.
24. Настройка гидрометеорологических станциям и постам. Вып. 3. Ч. 1. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 302 с.
25. Сухова О.В., Добрынин Д.В. Моделирование поведения копытных для оценки пространственного распределения кормовой базы амурского тигра в зимний период // *VI Всерос. конф. по поведению животных*. Москва 4–7 декабря 2017 г. С. 155.
26. Dobrynin D., Savelyev A. Hierarchical Multispectral Image Classification Based on Self Organized Maps // *Hamburg, IGARSS*, 28 June – 02 July 1999. P. 2510–2513.
11. Rickbeil G.J.M., Merkle J.A., Anderson G., Atwood M.P., Beckmann J.P., Cole E.K., Courtemanch A.B., Dewey S., Gustine D.D., Kauffman M.J., McWhirter D.E., Mong T., Proffitt K., White P.J., Middleton A.D. Plasticity in elk migration timing is a response to changing environmental conditions. *Global Change Biology*. 2019, 25 (7): 2368–2381. doi: 10.1111/gcb.14629.
12. Gelfan A.N., Moreido V.M. Describing macro-scale structure of the snow cover by a dynamic-stochastic model. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2015, 55 (4): 61–72. [In Russian]. doi.org/10.15356/2076-6734-2015-4-61-72.
13. Kitaev L.M., Tikhonov V.V., Titkova T.B. The accuracy of snow water equivalent anomalies retrieval from satellite data. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. Current problems in remote sensing of the Earth from space. 2017, 14 (1): 27–39. doi: 10.21046/2070-7401-2017-14-1-27-39. [In Russian].
14. Kuzmin P.P. *Formirovanie snezhnogo pokrova i metody opredeleniya snegozapasov*. Snow cover formation and methods for determining snow reserves. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1960: 167 p. [In Russian].
15. Sukhova O.V. Mapping of forest vegetation for snow accumulation modeling in the Perm region. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Biologiya. Nauki o Zemle*. Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences. 2013, 4: 132–139. [In Russian].
16. Rikhter G.D. Snow cover, its formation and properties. U.S. Army CRREL, Transl. 6, NTIS AD 045950, Hanover, NH, 1954: 66 p.
17. Kolomyts E.G. *Teoriya evolyutsii v strukturnom snegovedenii*. Theory of Evolution for Snow Structure Studies. M.: GEOS, 2013: 482 p. [In Russian].
18. *Pozvonochnye zhivotnye zapovednika «Bastak» (Rossiiskaya Federatsiya) i zapovednika «Khunkhe» (Kitaiskaya narodnaya respublika)*. Vertebrates «Bastak» Reserve (The Russian Federation) and «Honghe» Reserve (People's Republic of China). Khabarovsk: Antar, 2017: 117 p. [In Russian].
19. *Matyushkin E.N. Izbrannye trudy*. Selected Works. Moscow: KMK Scientific Press Ltd., 2005: 660 p. [In Russian].
20. Stevens F.A., Zaumyslova O.YU., Astafeyev A.A., KHeivard G.D., Mikell D.Dzh. *Analiz dinamiki naseleniya kopytnykh v Sikhote-Alinskom biosfernom zapovednike*. Analysis of the ungulates population dynamics in the Sikhote-Alin Biosphere Reserve. Vladivostok: Dalnauka, 2012: 164 p. [In Russian].
21. Dygalo V.S. The snow cover distribution on the river Medvenka catchment. *Trudy Tsentralnogo instituta prognozov*. Proc. of the Central Forecasting Institute. 1961, 134: 29–37. [In Russian].
22. Obidin A.A. Current apical growth of forest belts and snow accumulation *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. Bulletin of Altai State Agricultural University. 2012, 10 (96): 59–61. [In Russian].
23. Sosnovsky A.V., Osokin N.I. Dynamics of snow storages in forests and fields of Russian plains under climate changes. *Led i Sneg*. Ice and Snow. 2018, 58 (2): 183–190. doi: 10.15356/2076-6734-2018-2-183-190. [In Russian].
24. *Nastavlenie gidrometeorologicheskim stantsiyam i postam*. Manual for hydrometeorological stations and posts. Is. 3. Part. 1. Leningrad: Hydrometeoizdat, 1985: 302 p. [In Russian].
25. Sukhova O.V., Dobrynin D.V. Modeling the ungulates behavior for assess the food base spatial distribution of the Amur tiger in winter. *VI Vserossiyskaya konferentsiya po povedeniyu zhivotnykh*. Moskva 4–7 dekabrya 2017. VI All-Russian Conference on Animal Behavior. Moscow 4–7 December 2017: 155. [In Russian].
26. Dobrynin D., Savelyev A. Hierarchical Multispectral Image Classification Based on Self Organized Maps. *Hamburg, IGARSS*, 28 June – 02 July 1999: 2510–2513.