

УДК 528.91:528.8:504

DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-1-194-210

ГЕОИНФОРМАЦИОННОЕ БИОГЕОГРАФИЧЕСКОЕ КАРТОГРАФИРОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ ОСТРОВНЫХ ЭКОСИСТЕМ ПО ДАННЫМ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ

Ирина Владимировна Никулина

Сахалинский государственный университет, 693008, Россия, г. Южно-Сахалинск, ул. Ленина, 290, ст. преподаватель, тел. (924)180-61-12, e-mail: IrinkaEremenko@yandex.ru

Игорь Георгиевич Минервин

Специальное конструкторское бюро средств автоматизации морских исследований Дальневосточного отделения Российской академии наук, 693023, Россия г. Южно-Сахалинск, ул. А. М. Горького, 25, кандидат физико-математических наук, директор, тел. (914)755-32-53, e-mail: igor@minervin.ru

Вячеслав Анатольевич Мелкий

Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, 693022, г. Южно-Сахалинск, ул. Науки, 1б, доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории вулканологии и вулканопасности, тел. (984)139-70-77, e-mail: vamelkiy@mail.ru

Андрей Васильевич Радченко

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова, 190005, Россия, г. Санкт-Петербург, 1-я Красноармейская улица, 1, доктор физико-математических наук, профессор кафедры механики деформируемого твердого тела

В статье приводится методический подход к геоинформационному биогеографическому картографированию по данным дистанционного зондирования Земли, позволяющий оценить геоэкологическое состояние островных сичтем по характеру пространственно-временного распределения и динамики популяции бурого медведя, основанному на комплексе методов натуральных, дистанционных наблюдений и математического, картографического моделирования. В результате формализации данных выявлены факторы, влияющие на распределение особей в пространственных и временных масштабах, разработаны критерии оценки среды их обитания. Проведено ранжирование критериев на основе установления относительной значимости исследуемых типов факторов и их временной зависимости. Представлена технологическая схема построения тематических карт и моделирования пространственно-временного распределения бурого медведя. Валидность методики подтверждается достоверностью полученных результатов, основанных на многолетних исследованиях и указывающих на повторяемость и цикличность процессов и явлений во все выделенные сезонные периоды активного существования бурого медведя. Полученные в ходе исследования результаты являются эффективным инструментом планирования и проведения мероприятий по охране окружающей среды и безопасности жизнедеятельности человека при осуществлении производственной, рекреационной и туристической деятельности.

Ключевые слова: биогеографическое картографирование, моделирование, ГИС, бурый медведь, пространственно-временное распределение животных, ранжирование, ареал.

Введение

Биогеографическое картографирование – современная основа информативного отображения состояния и закономерностей биологического разнообразия исследуемой территории. Инструментом анализа, систематизации пространственных данных служат геоинформационные системы, позволяющие создавать цифровые тематические карты с помощью математического и картографического моделирования [1].

В последние десятилетия хозяйственная деятельность человека выражается в интенсивном развитии нефтегазовой отрасли, промышленных рубок лесов, строительстве производственных объектов и подъездных путей, и, как следствие, фрагментации территорий, что приводит к трансформации естественных ландшафтов и экосистем [2]. Особенно заметно это проявляется на изолированных территориях в силу их природно-географических условий [3]. Помимо этого, чрезмерная добыча биологических ресурсов, включая водно-биологические, привела к сокращению кормовой базы многих представителей териофауны [4].

Важным представителем природной среды в островных экосистемах Сахалина является бурый медведь (*Ursus arctos*), распространенный по всей территории острова [5]. Плотность его популяции на о. Сахалин – одна из самых высоких в России [6]. Медведь выступает как связующее звено между отдельными элементами ландшафта, являясь значимым индикатором состояния среды его обитания, подверженной воздействию техногенных факторов [7]. Изменение условий обитания бурого медведя приводит к серьезным проблемам его сосуществования с человеком: нередко фиксируются конфликтные контакты, проявляющиеся в агрессивном поведении животного, вплоть до гибели людей, нападении на домашний скот, нанесении материального ущерба, что влечет за собой вынужденный отстрел отдельных особей [8, 9].

Моделирование, отражающее качество среды обитания бурого медведя, а также зоны наиболее вероятного нахождения животных, может являться хорошим инструментом для планирования и проведения мероприятий по охране окружающей среды и безопасности жизнедеятельности человека [10].

Материалы и методы исследования

В качестве исходных материалов для разработки модели исследования стали полевые экспедиционные данные, полученные на основе стационарных и маршрутных наблюдений в период с 2007 по 2017 г. [11, 12]; научные труды об особенностях обитания бурого медведя на Сахалине [5, 13]; фондовые и архивные материалы Министерства лесного и охотничьего хозяйства Сахалинской области; результаты систематизации данных геоэкологического состояния и техногенной нагрузки на компоненты природной среды (материалы Министерства природных ресурсов Сахалинской области); предполевое дешифиро-

вание с выделением участков для мониторинга объекта исследования в естественных условиях, как идеальной (оптимальной) среды обитания животных в пространственно-временных континуумах. С точки зрения разнообразия природных ландшафтов, район регионального заказника «Восточный» можно рассматривать как своеобразный полигон, где на ограниченном пространстве расположена самая высокая горная система острова Сахалин с характерной высотной дифференциацией растительности. Здесь сохранились девственные леса и другие природные комплексы с оригинальным видовым составом, сложной структурой и большим биологическим разнообразием. Плотность обитания бурого медведя в заказнике заметно выше, чем в других более обжитых районах острова [14].

Регистрация животных проводилась с использованием системы глобального спутникового позиционирования (GPS), а также фотографирования особей при помощи цифрового фотоаппарата и инфракрасных фотоловушек.

На основе анализа полученных данных были определены факторы среды, влияющие на приуроченность бурых медведей к территории и их значимость в различные сезонные периоды (характеризующиеся отчетливой сменой локаций животных), а также критерии оценки мест обитания с учетом распределения животных на изучаемой территории.

Ранжирование оцениваемых критериев производилось на основе установления относительной значимости исследуемых типов факторов и их упорядочения с применением математической функции желательности Харрингтона [15]. Каждому критерию присваивался ранг в установленных диапазонах согласно балльно-рейтинговой оценочной шкале по 5-балльной системе. Учитывалось проявление каждого показателя по величине использования: 1 – наименее благоприятные условия обитания, 5 – наиболее благоприятные (рис. 1).

Все используемые показатели для удобства их анализа объединены и представлены в табличном виде (фрагмент таблицы отражен на рис. 1, б).

Для оценки значимости рассматриваемых факторов применен математический метод, основанный на нормировании значений с использованием результатов проведенного ранжирования [16].

Относительная значимость всех факторов рассчитывалась в отдельности для каждого типа (ранга) значений. С этой целью оценки, полученные в результате анализа каждого фактора, суммировались по горизонтали, а затем последовательно нормировались (рис. 1, б)

$$\sum P_{iN} = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 + P_5; \quad (1)$$

$$\text{КФ} = P_i / \sum P_{iN}, \quad (2)$$

где $\sum P_{iN}$ – сумма рангов N -уровня;

P_1, \dots, P_5 (P_i) – ранги;

КФ – коэффициент нормирования.

Далее вычислялась относительная значимость каждого фактора в процентах путем отношения суммы нормированных значений к общему числу типов:

$$G_{ij} = \sum \text{КФ} / N_{\Sigma} \cdot 100 \%, \quad (3)$$

где G_{ij} – относительная значимость фактора;
 N_{Σ} – общее число типов (критериев).

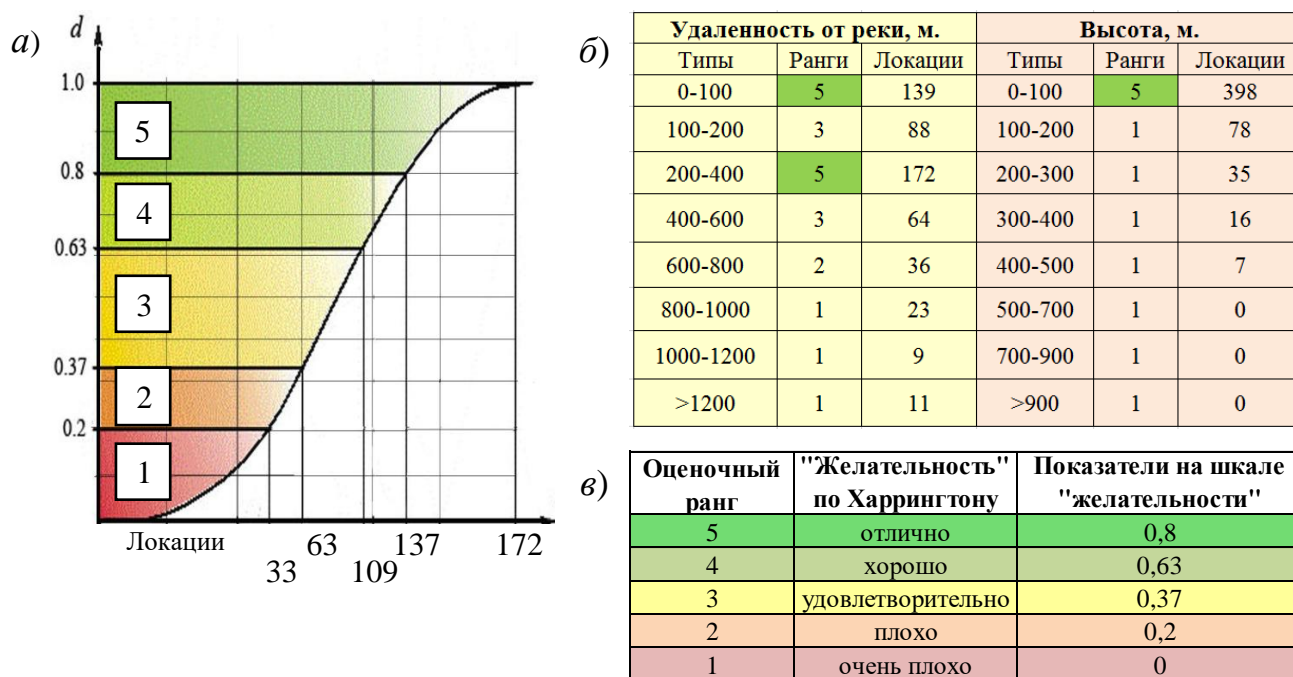


Рис. 1. Ранжирование классифицируемых типов с использованием функции «желательности» Харрингтона:

а) график логистической функции Харрингтона; б) фрагмент таблицы анализа мест обитания бурого медведя; в) соответствия между параметрами предпочтения в эмпирической и числовой системах

Биогеографическое картографирование территорий пространственно-временного распределения бурого медведя в пределах его ареала проводилось с применением программного комплекса ArcGIS Desktop 10, ScanEx Image Processor. Для обработки пространственных данных использован инструмент статистики ArcGIS и программный комплекс Statistica Ultimate Academic 13. Вычислялись статистические показатели, отражающие пространственные закономерности распределения точек – локаций бурого медведя.

Моделирование пространственно-временного распределения бурого медведя основано на анализе факторов, представленных в виде различных цифровых слоев [17] с использованием методов геоинформационного картографирования [18–22]:

а) на основе цифровой модели рельефа [23] получены карты высоты, уклона и экспозиции склонов, проведена их классификации и выделены восемь типов в пределах каждого фактора;

б) для определения параметров расстояния – удаленности животных от водных объектов или их границ (устье реки, русло реки, морское побережье) использована топографическая основа масштаба 1 : 200 000, построены буферные зоны согласно восьмиступенчатой типизации данных факторов;

в) для отображения растительного покрова данной территории на основе дешифрирования космических снимков Sentinel, Landsat [24] и результатов натурных наблюдений [25] построена карта растительности методом максимального подобия [26–28].

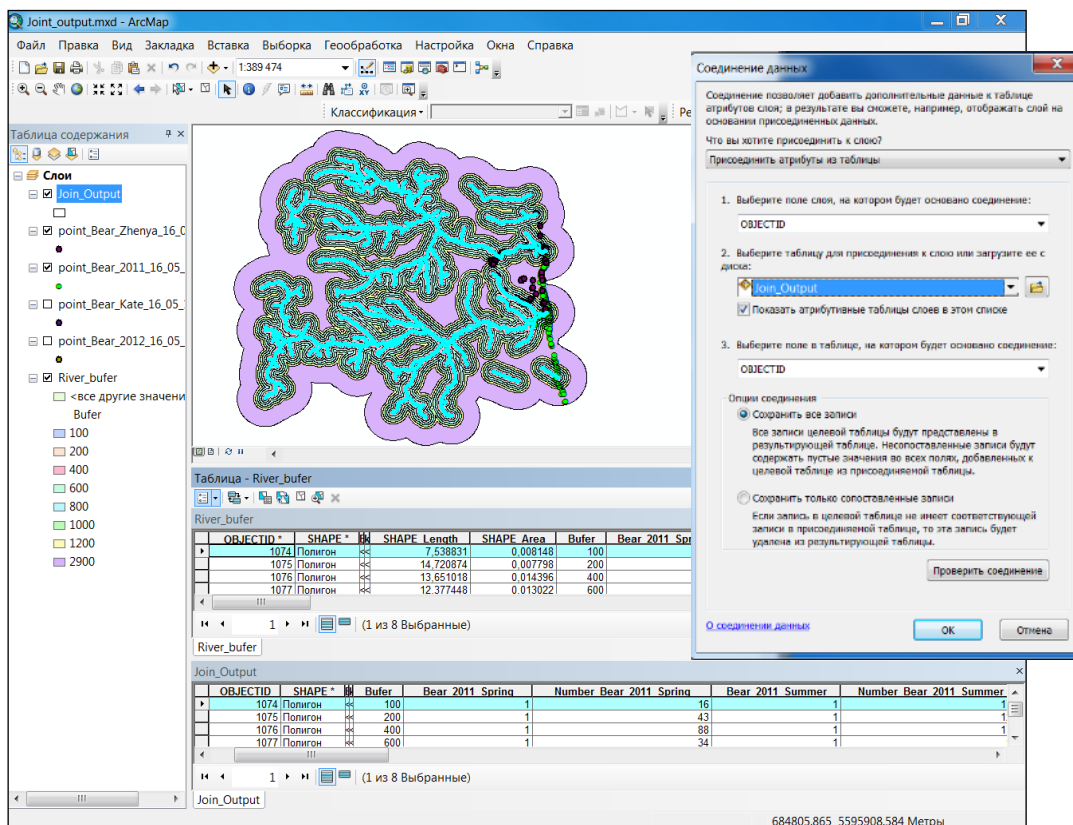
После предварительной подготовки цифровых слоев проводился подсчет точек, отображающих местонахождение животных, в каждом целевом поле методом пространственной выборки объектов. Для этого в атрибутивных таблицах создавались дополнительные поля и промежуточные таблицы для соединения и связи значений и присвоения атрибутивных данных (рис. 2, а). Затем посредством использования опции «суммирование значений» получали общее количество точек в каждом исследуемом типе (рис. 2, б). По результатам конечных значений вычислялись средние показатели концентрации локаций бурого медведя в различных диапазонах факторов, которые применялись для дальнейшего ранжирования информации.

Инструментом геообработки «переклассификация» все растры приводились к идентичной шкале, это необходимо при присвоении рангов (от 1 до 5) каждому диапазону значений для их графического отображения.

С целью построения модели проведен синтез готовых растровых слоев с помощью инструмента «калькулятор растра» посредством умножения каждого растрового слоя на значение процента влияния фактора (веса) и затем суммирования их вместе для создания финального растра. Важное значение при данном анализе имеет корректное определение веса каждого слоя.

Схема анализа и моделирования мест обитания бурого медведя основана на концепции Дж. Бойда, отражающей основные элементы, характеризующие процессы, действующие в непрерывном цикле с окружающей средой и учитывающие ее возможные изменения, позволяющие принимать решения и составлять результирующие материалы, представленные в данном исследовании в виде картографического отображения (рис. 3).

а)



б)

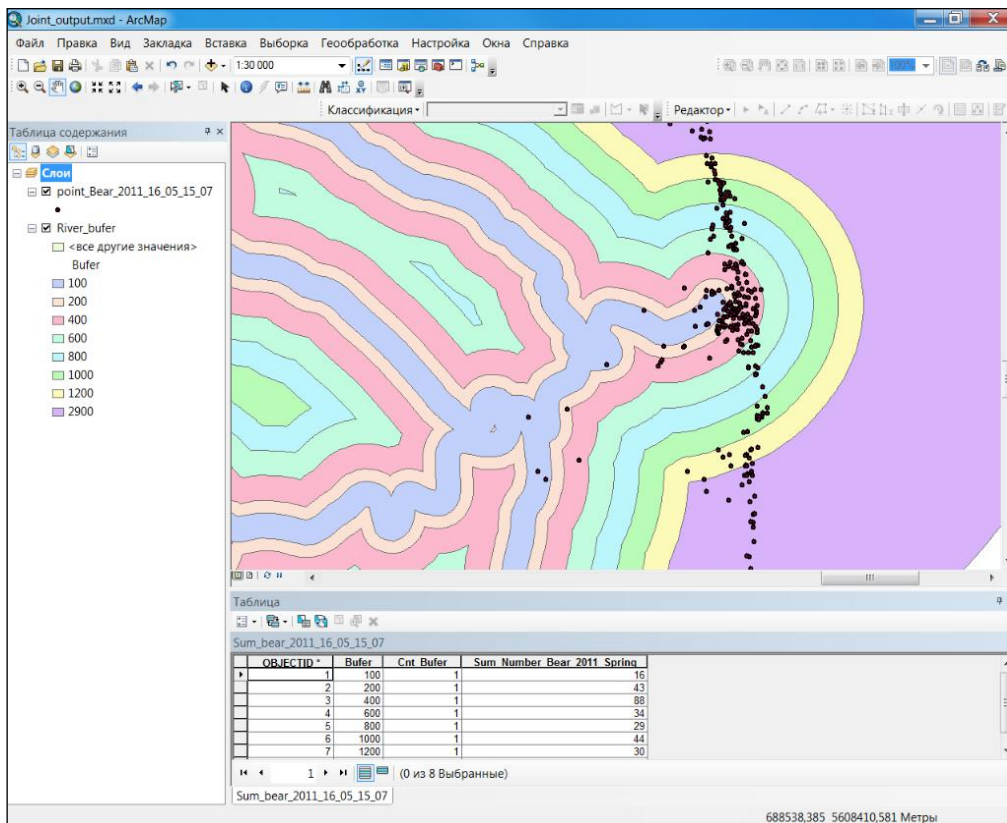


Рис. 2. Процесс подсчета точек:

- а) создание промежуточной таблицы и присвоение атрибутивных данных;
 б) результаты суммирования точек в каждом целевом слое



Рис. 3. Схема моделирования пространственно-временного распределения бурого медведя

Обсуждение результатов

Статистический анализ пространственно-временного распределения животных показал, что все их перемещения имеют определенные закономерности в отношении отдельных факторов среды и их значимости.

Согласно Z-оценке, вероятность того, что наблюдаемая пространственная закономерность может быть результатом случайного распределения точек – менее 1 %; коэффициент ближайших соседей – меньше 1, что указывает на корректную кластеризацию анализируемых данных (рис. 4, 5).

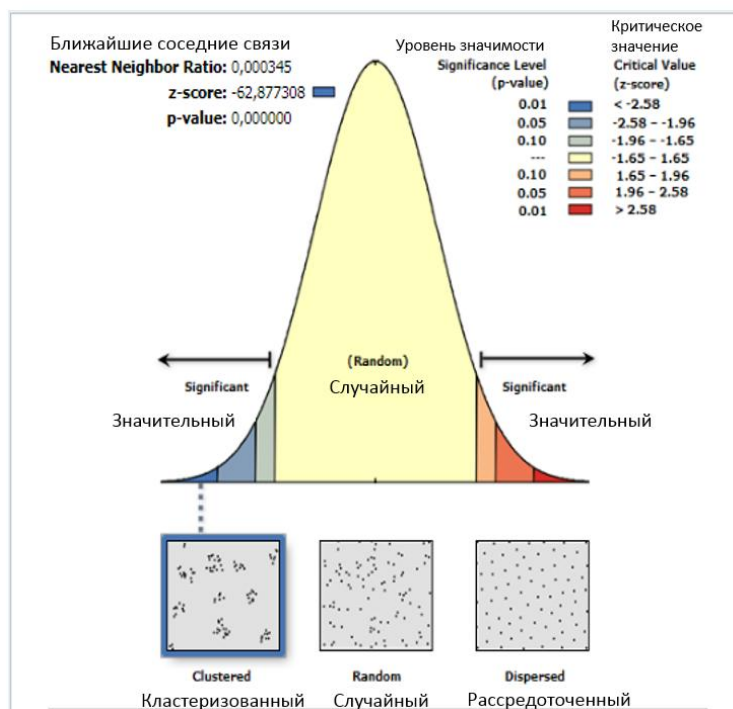


Рис. 4. График нормального распределения локаций бурого медведя

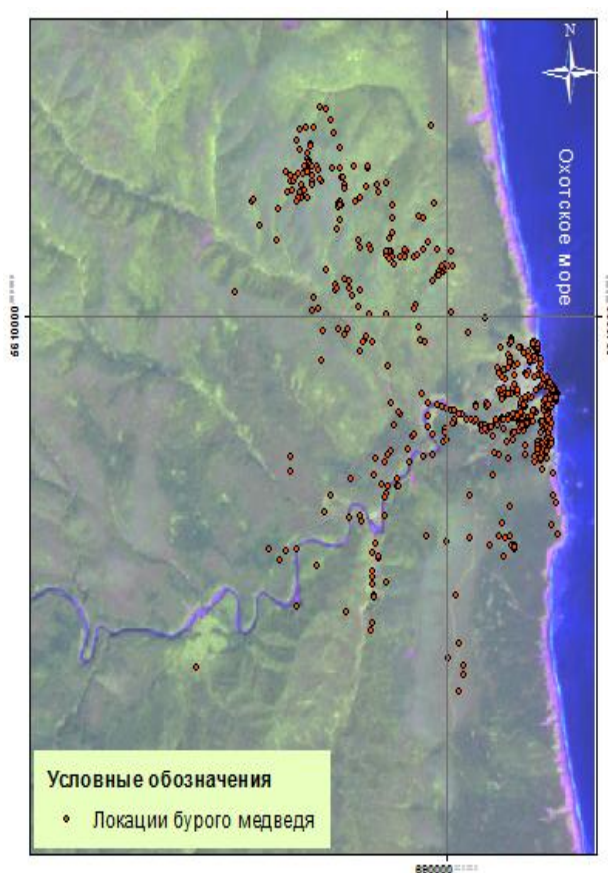


Рис. 5. Отображение точек-локаций бурого медведя для анализа его перемещения на исследуемой территории

Унифицированное представление сезонных и пространственных различий в обитании бурого медведя отражено в результирующей модели-схеме (в виде лепестковой диаграммы) (рис. 6). Лепестковая диаграмма отражает приоритетность каждого фактора в определенный сезонный период и его функциональную значимость. Так, например, река (близость от основных русел) в летний и осенний периоды является источником добываемой рыбы (основной наживочный корм), где пространственное размещение животных происходит преимущественно вблизи нерестовых рек, что отмечалось другими авторами [29]. В весенне-летний период для медведей определенное значение составляют пойменные участки и надпойменные террасы. Эти зоны имеют благоприятные условия для раннего развития травянистой растительности, как ее надземной части, так и подземной в виде луковиц и корневищ, которые медведь охотно поедает в малокормный период. Эти условия определяются избыточным увлажнением пойменных участков (амплитуда колебаний температуры здесь меньше, чем на более сухих участках, что препятствует промерзанию почвы). На диаграмме рельеф территории (главным образом высота) занимает большую площадь и является наиболее приоритетным фактором во всех сезонах, высотная дифференциация обуславливает распределение характерных условий местности.

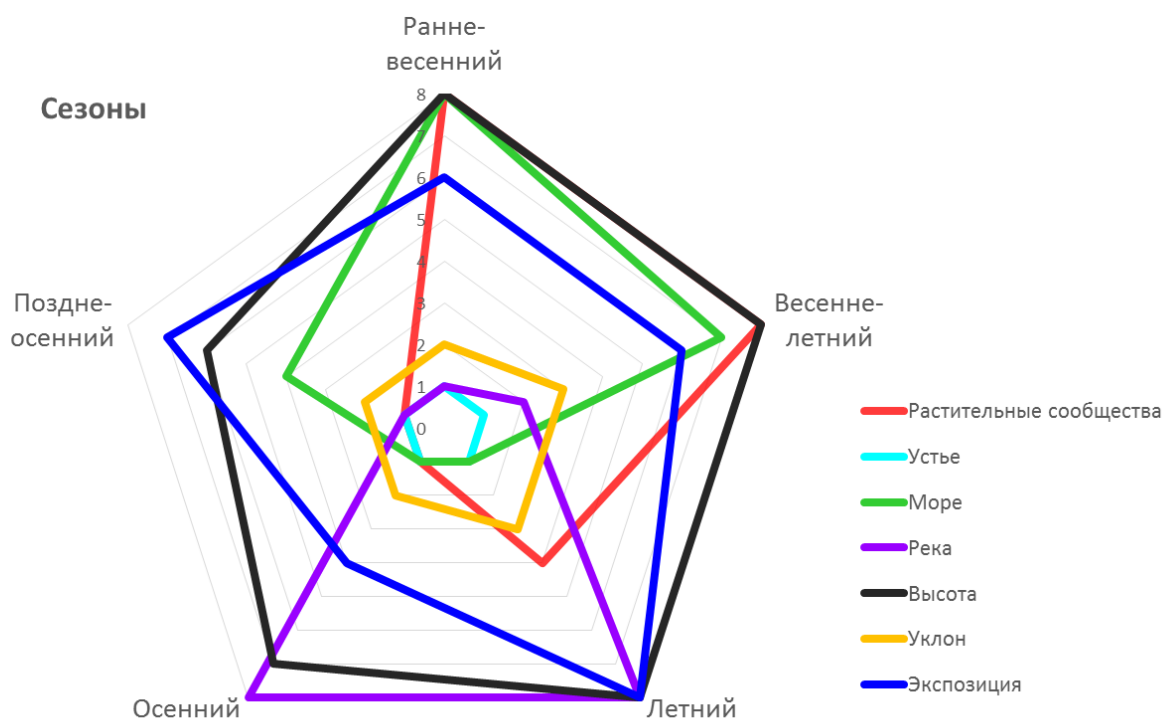


Рис. 6. Результирующая модель-схема, представляющая сезонные и пространственные различия в обитании бурого медведя

В ходе обработки данных в программном комплексе ArcGISS были созданы промежуточные карты-схемы наиболее вероятных областей распространения *Ursus arctos* в разные сезонные периоды и отражен вклад каждого анализируемого фактора [17]. Таким образом, подготовлено 7 цифровых слоев, отражающих абиотические и биотические факторы, влияющие на распространение особей по территории, на основе чего построены и проанализированы 40 карт-схем. Для примера представлена технологическая схема построения тематической карты, отражающей результаты ранжирования слоя «удаленность от русла реки» в летний период (рис. 7).

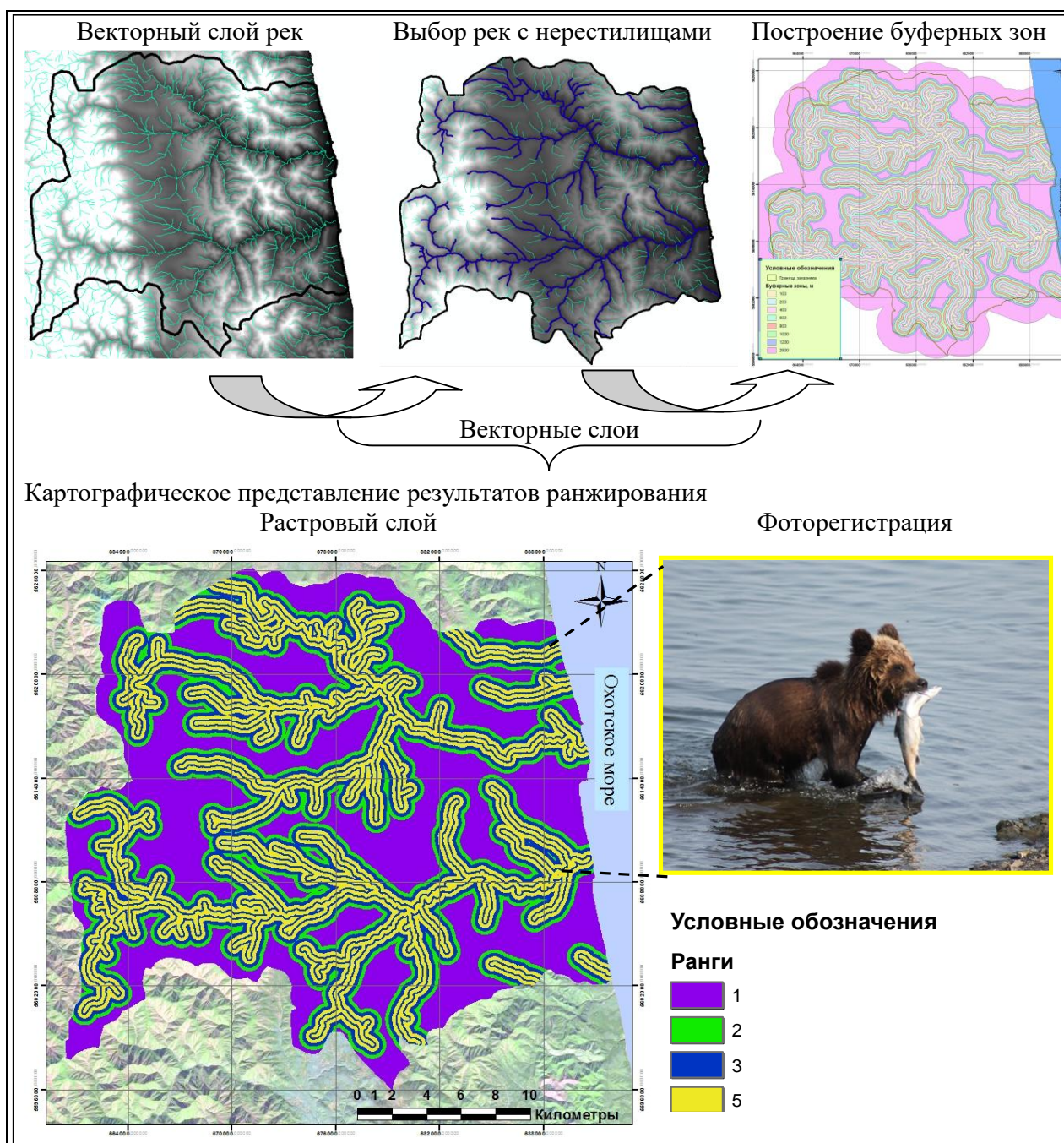


Рис. 7. Последовательность операций при создании тематической карты

На основе геоинформационной обработки представленных цифровых слов получено модельное представление распределения животных в летний период. Для тестирования точности определения добавлены точки – локации бурых медведей, концентрация которых отмечается в зонах с наивысшими значениями рангов 4, 5 (зоны расположения русел рек и ягодников), что подтверждает корректность полученных результатов и правильность выбора методов анализа и картографирования (рис. 8).

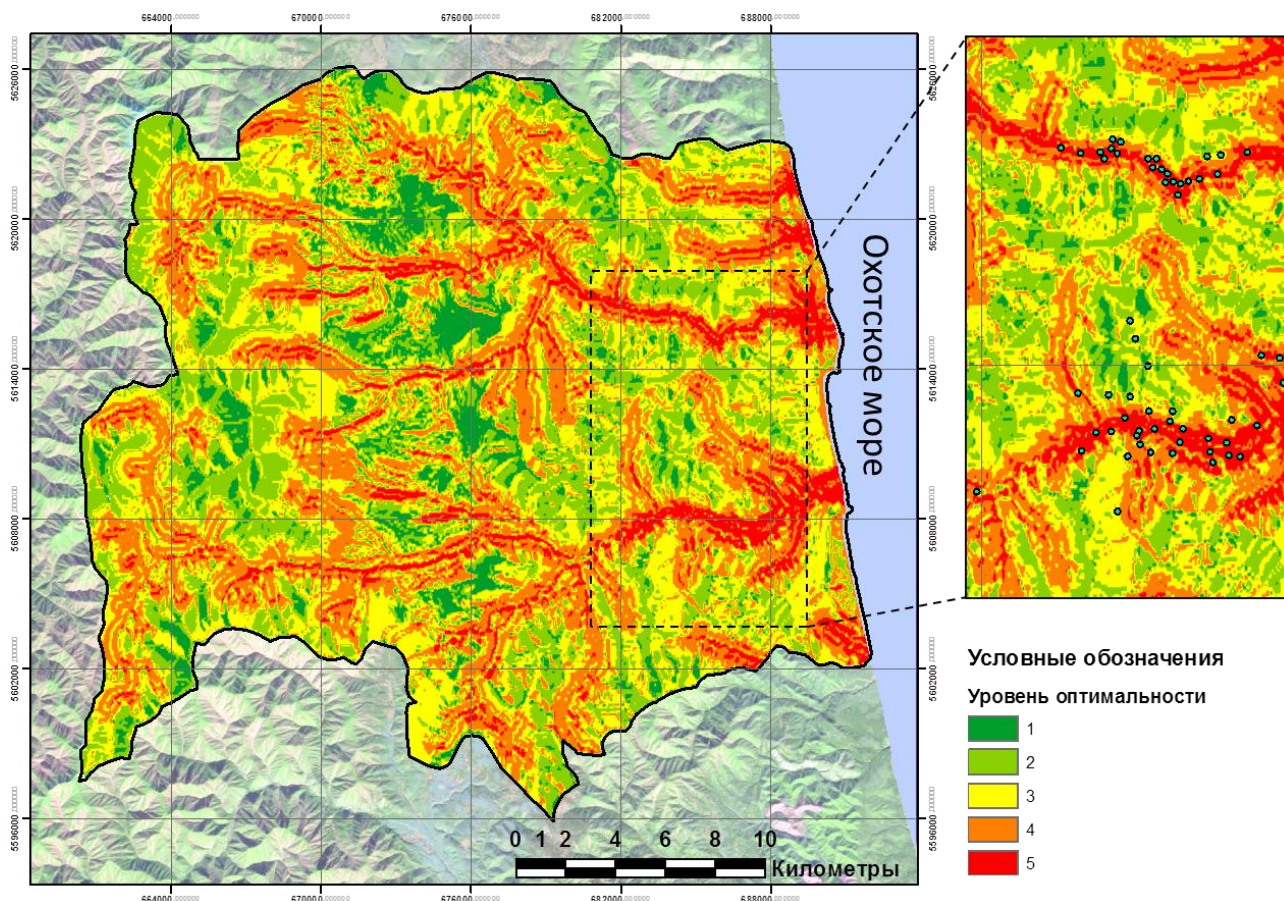


Рис. 8. Модель мест обитания бурого медведя в летний период

Заключение

Таким образом, предложенная методика представляет собой современный автоматизированный комплекс, обеспечивающий сбор, обработку, анализ и формализацию данных, в визуализированном представлении в виде тематических карт, математических и картографических моделей мест обитания животных. Геоинформационная система может быть дополнена геоданными различного характера и решать поставленные задачи. Технологическая реализация ГИС позволяет регистрировать пространственно-временные изменения в распределении животных, в зависимости от изменяющихся условий среды; про-

гнозировать их концентрацию на отдельных территориях; оценивать риски, связанные с конфликтными ситуациями между человеком и медведем, а также формулировать рекомендации для обеспечения безопасности как при осуществлении рекреационной, туристической деятельности, так и при определении пространственно-временного регламента проведения производственных работ и их администрирование с учетом сезонных локаций бурого медведя на отдельных территориях.

Авторы выражают благодарность за помощь в проведении натуральных наблюдений в заказнике «Восточный» Региональной общественной организации «Экологическая вахта Сахалина».

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Николаева О. Н. Биогеографические карты – средство для сохранения и рационального использования природных ресурсов // VI Междунар. научн. конгресс «ГЕО-Сибирь-2010»: сб. материалов (Новосибирск, 26–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск : СГГА, 2010. – С. 46–50.
2. Экологический мониторинг и мероприятия по снижению уровня возможного негативного воздействия трубопроводов (проект «Сахалин 2») на окружающую среду острова Сахалин / В. А. Мелкий, А. А. Верхотуров, Д. В. Долгополов, А. Н. Бурькин, В. В. Ильин, А. А. Гальцев, О. М. Зарипов, Д. Г. Новиков, Я. П. Белянина, И. В. Еременко // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2015. – № 4. – С. 101–108.
3. Биоразнообразие Сахалинской области / Я. В. Денисова, И. В. Еременко, Я. П. Белянина, И. И. Лобищева, Е. А. Картушина : учеб. пособие. – Южно-Сахалинск : Изд-во СахГУ, 2012. – 400 с.
4. Тварковский Л. С., Минервин И. Г. Охрана живых морских ресурсов российского Дальнего Востока (вторая половина XIX–XX в.). – Н. Новгород ; М. : Изд-во Волго-Вятской акад. госслужбы : Изд-во МНЭПУ, 2002. – 154 с.
5. Воронов В. Г. Бурый медведь островов Сахалинской области // Экология, морфология, охрана и использование медведей. – М. : Наука, 1972. – С. 22–24.
6. Состояние охотничьих ресурсов в Российской Федерации в 2008–2010 гг. Информационно-аналитические материалы / Н. В. Ломанова, Б. П. Борисов, О. А. Володина, Ю. П. Губарь, М. Г. Ляпина, М. А. Комиссаров, Т. С. Мошева, А. А. Наумова, С. В. Сидоров, С. А. Царев, Т. В. Юдина, С. Ю. Фокин, Ю. Ю. Блохин, П. А. Зверев, М. В. Козлова, А. П. Межнев, Ю. М. Романов // Охотничьи животные России (биология, охрана, ресурсведение, рациональное использование / под ред. Н. А. Моргунова, Н. В. Ломановой, П. М. Павлова, С. В. Фокина. – М. : Центрохотконтроль, 2010. Вып. 9. – 219 с.
7. Пачковский Д., Серёдкин И. В. Теория ландшафтных видов в практике сохранения бурого медведя Камчатки // Всероссийская конференция «Сибирская зоологическая конференция»: тезисы докладов (Новосибирск, 15–22 сентября 2004 г.). – Новосибирск, 2004. – С. 166.
8. Mano T. Home range and habitat use of brown bears in the southwestern Oshima Peninsula, Hokkaido // The Ninth Int. Conf. «Bear Research and Management». – Missoula: Int. Assoc. Bear Res. Manage., 1994. – Vol. 9. – P. 319–325. doi: 10.2307/3872717.
9. Brown bear attacks on humans: a worldwide perspective / G. Bombieri, J. Naves, V. Penteriani et al. // Scientific Reports. – 2019. – 9: 8573. doi: 10.1038/s41598-019-44341-w.
10. Никулина И. В. Влияние геоэкологической обстановки на состояние популяции бурого медведя и обеспечение безопасности работ на территории // Нефтегазовый комплекс:

проблемы и решения : материалы первой национал. науч.-практ. конф. – Южно-Сахалинск : СахГУ, 2018. – 87 с.

11. Методики описания биоразнообразия заказника «Восточный» по материалам экспедиционных данных 2007 года // Труды международного форума по проблемам науки, техники и образования / под ред. В. А. Малинникова, В. В. Вишневого. – М. : Академия наук о Земле, 2008. Т. 3. – С. 85–86.

12. Серёдкин И. В., Лисицин Д. В., Борисов М. Ю. Изучение бурого медведя на Сахалине // Изв. Самарского научного центра РАН. – 2012. – Т. 14, № 1 (8). – С. 1925–1928.

13. Костин А. А., Еремин Ю. П. Бурый медведь Сахалинской области // Охота и охотничье хозяйство. – 2004. – № 7. – С. 18–20.

14. Еременко И. В., Сабиров Р. Н. Эколого-фаунистические комплексы природного заказника «Восточный» // Природные катастрофы: изучение, мониторинг, прогноз: VI Сахалинская молодеж. науч. школа, г. Южно-Сахалинск, Россия, 3–8 октября 2016 г. : сборник материалов. – Южно-Сахалинск : ИМГиГ ДВО РАН, 2016. – С. 375–379.

15. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М. : Наука, 1976, – 280 с.

16. Коросов А. В. Специальные методы биометрии : учеб. пособие. – Петрозаводск : Изд-во ПетрГУ, 2007. – 363 с.

17. Никулина И. В., Минервин И. Г. Применение цифровых технологий для изучения пространственно-временного распределения бурого медведя (*Ursus arctos* Linnaeus, 1758) на острове Сахалин // Материалы докладов XVII Междунар. науч.-практич. конф. «Фундаментальные и прикладные науки сегодня» (North Chalston, 10–11 декабря 2018 г.). – Raleigh : Lulu Press, 2018. Т. 2. – С. 45–49.

18. Кокорина И. П. Применение геоинформационных методов в зоогеографическом картографировании // VI Междунар. науч. конгресс «ГЕО-Сибирь-2010» : сб. материалов (Новосибирск, 26–29 апреля 2010 г.). – Новосибирск : СГГА, 2010. Т. 1, ч. 2. – С. 151–154.

19. Хлебникова Т. А., Оприцова О. А. Экспериментальные исследования современных программных продуктов для моделирования геопространства // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 1. – С. 119–131.

20. Картографирование ареалов модельных видов животного населения Республики Дагестан / А. М. Мухтарова, В. В. Братков, Н. М. Биктимирова, Г. М. Мухтарова, П. В. Бекшокова, Г. М. Нахибашева // Юг России: экология, развитие. – 2018. – № 13 (4). – С. 68–85. doi: 10.18470/1992-1098-2018-4-68-85.

21. Хохлова Е. С., Осадчая Г. Г., Овчарук Т. А. Экологическое картографирование : учеб. пособие. – Ухта : УГТУ, 2013. – 252 с.

22. Mapping the conservation landscape / K. H. Redford, P. Coppolillo, E. W. Sanderson, GAB Da Fonseca, E. Dinerstein, C. Groves, G. Mace, S. Maginnis, R. A. Mittermeier, R. Noss, D. Olson, J. G. Robinson, A. Vedder, M. Wright // Biological Conservation. – 2003. – P. 116–131. doi: 10.1046/j.1523-1739.2003.01467.x.

23. Цифровая модель рельефа [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/>.

24. Разработка методик автоматизированного дешифрирования аэрокосмических снимков. Дешифровочные признаки изображений объектов на многоспектральных космических снимках / А. П. Гук, Л. Г. Евстратова, Е. П. Хлебникова, М. А. Алтынцев, С. А. Арбузов, А. С. Гордиенко, А. А. Гук, Д. П. Симонов // Геодезия и картография. – 2013. – № 7. – С. 31–40.

25. Сабиров Р. Н., Сабирова Н. Д. Сахалинский природный заказник «Восточный»: леса и флороценотическое разнообразие // Вестник Сахалинского музея. – 2004. – № 11. – С. 398–413.

26. Вовк И. Г. Математическое моделирование в прикладной геоинформатике // Вестник СГУГиТ. – 2012. – Вып. 1 (17). – С. 94–103.

27. Бугакова Т. Ю. Выбор варианта изменения пространственно-временного состояния систем в прикладной геоинформатике // Вестник СГУГиТ. – 2014. – Вып. 1 (25). – С. 145–152.

28. Научно-методические основы формализации процессов составления тематических карт для реализации инструментальной справочно-аналитической информационной системы / С. С. Дышлюк, О. Н. Николаева, С. А. Сухорукова, Л. А. Ромашова // Вестник СГГА. – 2011. – Вып. 1 (14). – С. 49–54.

29. Barnes V. G. The influence of salmon availability on movements and range of brown bears on Southwest Kodiak Island // The Eighth Int. Conf. on Bear Research and Management «Bears – Their Biology and Management. – Victoria : Int. Assoc. Bear Res. Manage, 1990. Vol. 8. – P. 305–313. doi: 10.2307/3872933.

Получено 03.10.2019

© И. В. Никулина, И. Г. Минервин, В. А. Мелкий, А. В. Радченко, 2020

GEOINFORMATION BIOGEOGRAPHIC MAPPING OF ISLAND ECOSYSTEMS BY REMOTE SENSING DATA

Irina V. Nikulina

Sakhalin State University, 290, Lenin St., Yuzhno-Sakhalinsk, 693008, Russian, Senior Lecturer, phone: (924)180-61-12, e-mail: IrinkaEremenko@yandex.ru

Igor G. Minervin

Special Design Bureau for Marine Research Automation Tools of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 25, Gorky St., Yuzhno-Sakhalinsk, 693023, Russian, Ph. D., Director, phone: (914)755-32-53, e-mail: igor@minervin.ru

Vyacheslav A. Melkiy

Institute of Marine Geology and Geophysics of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 1b, Nauki St., Yuzhno-Sakhalinsk, 693022, Russia, D. Sc., Leading Researcher, Laboratory of Volcanology and Volcano Hazard, phone: (984)139-70-77, e-mail: vamelkiy@mail.ru

Andrey V. Radchenko

Baltic State Technical University "VOENMEH" named after D. F. Ustinova, 1, 1st Krasnoarmeyskaya St., St. Petersburg, 190005, Russia, D. Sc., Professor, Department of Mechanics of a Deformable Solid

The article presents a methodological approach to geoinformation biogeographic mapping of the spatial and temporal distribution of the brown bear, based on a set of methods of field, remote observations and mathematical, cartographic modeling. As result of the data formalization, the factors influencing the distribution of individuals in spatial and temporal scales are identified criteria for assessing their habitat are developed. Ranking of criteria on the basis of establishment of relative importance of the studied types of factors and their time dependence is carried out. The technological scheme of construction of thematic maps and modeling of space-time distribution of a brown bear is presented. The validity of the method is confirmed by the reliability of the results based on long-term studies and indicating the repeatability and cyclicity of processes and phenomena in all selected seasonal periods of active existence of the brown bear. The results obtained in the course of the study are an effective tool for planning and carrying out measures to protect the

environment and human life safety in the implementation of industrial, recreational and tourist activities.

Key words: biogeographic mapping, modeling, GIS, brown bear, spatial and temporal distribution of animals, ranking, habitat.

REFERENCES

1. Nikolaeva, O. N. (2010). Biogeographic maps – a means for the conservation and rational use of natural resources. In *Sbornik materialov GEO-Sibir'-2010 [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2010]* (pp. 46–50). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
2. Melkiy, V. A., Verkhoturov, A. A., Dolgoplov, D. V., Burykin, A. N., Ilin, V. V., Gal'tsev, A. A., Zaripov, O. M., Novikov, D. G., Belyanina, Ya. P., & Eremenko, I. V. (2015). Environmental monitoring and activities to reduce potential negative impact of the pipelines (Project “Sakhalin-2”) on the environment of Sakhalin island. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 4, 101–108 [in Russian].
3. Denisova, Ya. V, Eremenko, I. V., Belyanina, Ya. P, Lobishcheva, I. I., Kartushina, E. A. (2012). *Bioraznoobrazie Sakhalinskoy oblasti [Biodiversity of the Sakhalin region]*. Yuzhno-Sakhalinsk: Sakhalin State University, 400 p. [in Russian].
4. Tvarkovskiy, L. S., & Minervin, I. G. (2002). Okhrana zhivyykh morskikh resursov rossiyskogo Dal'nego Vostoka (vtoraya polovina XIX–XX v.) [Protection of living marine resources of the Russian Far East (the second half of the XIX–XX century)]. Nizhny Novgorod; Moscow: Volgo-Vyatskoy akad. Gossluzhby Publ.; MNEPU Publ., 154 p. [in Russian].
5. Voronov, V. G. (1972). Brown bear Islands of the Sakhalin region. In *Ekologiya, morfologiya, okhrana i ispol'zovanie medvedey [Ecology, morphology, protection and use of bears]* (pp. 22–24). Moscow: Nauka Publ. [in Russian].
6. Lomanova, N. V, Borisov, B. P, Volodina, O. A, Gubar', Yu. P., Lyapina, M. G., Komissarov, M. A., Mosheva, T. S., Naumova, A. A., Sidorov, S. V., Tsarev, S. A., Yudina, T. V., Fokin, S. Yu., Blokhin, Yu. Yu., Zverev, P. A., Kozlova, M. V., Mezhnev, A. P., Romanov, & Yu. M. (2010). Status of hunting resources in the Russian Federation in 2008-2010. Information and analytical materials. In *Okhotnich'i zhivotnye Rossii (biologiya, okhrana, resursovedenie, ratsional'noe ispol'zovanie: Vyp. 9 [Hunting animals of Russia (biology, protection, resource science, rational use: Issue 9]*. Morgunov N. A., Lomanova N. V., Pavlov P. M., & Fokin S. V. (Eds.). Moscow: Tsentrokhotkontrol' Publ., 219 p. [in Russian].
7. Pachkovskiy, Dzh., & Seredkin, I. V. (2004). Theory of landscape species in the practice of conservation of brown bears of Kamchatka. In *Tezisy dokladov Vserossiyskoy konferentsii: Sibirskaya zoologicheskaya konferentsiya [Abstracts of Russian National Conference: Siberian Zoological Conference]* (p. 166). Novosibirsk [in Russian].
8. Mano, T. (1994). Home range and habitat use of brown bears in the southwestern Oshima Peninsula, Hokkaido. In *The Ninth Int. Conf. "Bear Research and Management": Vol. 9* (pp. 319–325). Missoula: Int. Assoc. Bear Res. Manage. doi: 10.2307/3872717.
9. Bombieri, G., Naves, J., Penteriani, V. & et al. (2019). Brown bear attacks on humans: a worldwide perspective. *Scientific Reports*, 9: 8573. doi:10.1038/s41598-019-44341-w.
10. Nikulina, I. V. (2018). The influence of the geoecological situation on the state of the brown bear population and ensuring the safety of work on the territory. In *Sbornik materialov pervoy nacionalnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: Neftegazovyy kompleks: problem I resheniya [Proceedings of the First National Scientific and Practical Conference: Oil and Gas Complex: Problems and Solutions]* (87 p.). Yuzhno-Sakhalinsk: SakhSU Publ. [in Russian].
11. Malinnikov, V. A., & Vishnevsky, V. V. (Eds.). (2008). Techniques for describing the biodiversity of the Vostochny Wildlife Sanctuary based on expeditionary data from 2007. In *Trudy*

mezhdunarodnogo foruma po problemam nauki, tehniki i obrazovaniya: T. 3 [Proceedings of the International Forum on Science, Technology and Education: Vol. 3] (pp. 85–86). Moscow: Academy of Earth Sciences [in Russian].

12. Sereдкин, I. V., Лиситин, D. V., & Борисов, M. Yu. (2012). Study of brown bear on Sakhalin. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN [News of Samara Scientific Center of RAS]*, 14(8), 1925–1928 [in Russian].

13. Костин, A. A., Еремин, Yu. P. (2004). Brown bear of the Sakhalin region. *Okhota i okhotnich'e khozyaystvo [Hunting and Hunting Economy]*, 7, 18–20 [in Russian].

14. Еременко, I. V., & Сабиров, R. N. (2016). Ecological and faunistic complexes of nature reserve "Eastern". In *Sbornik materialov VI Sakhalinskoy molodezhnoy nauchnoy shkoli.: Prirodnye katastrofy: izuchenie, monitoring, prognoz [Proceedings of VI Sakhalin Youth Scientific School, Yuzhno-Sakhalinsk Natural Disasters: Study, Monitoring, Forecast]* (pp. 375–379). Yuzhno-Sakhalinsk: IMGG DVB RAS Publ. [in Russian].

15. Adler, Yu. P., Markova, E. V., & Granovsky, Yu. V. (1976). *Planirovanie eksperimenta pri poiske optimalnykh usloviy [Planning an experiment to find optimal conditions]*. Moscow: Nauka Publ., 280 p. [in Russian].

16. Korosov, A. V. (2007). *Specialnye metody biometrii [Special biometric methods]*. Petrozovodsk: PetrGY Publ., 363 p. [in Russian].

17. Nikulina, I. V., & Minervin, I. G. (2018). The use of digital technologies to study the spatiotemporal distribution of a brown bear (*Ursus arctos* Linnaeus, 1758) on Sakhalin Island. In *Materialy dokladov XVII mezhdynarodnoy nauchno-practicheskoy konferenci: Fundamentalnye i prikladnye nauki segodnya: T. 2 [Reports of the XVII International Scientific and Practical Conference: Fundamental and Applied Sciences Today: Vol. 2]* (pp. 45–49). Raleigh: Lulu Press.

18. Kokorina I. P. (2010). Application of geographic information methods in zoogeographic mapping. In *Sbornik materialov GEO-Sibir'-2010: T. 1, ch. 2 [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2010: Vol. 1, Part 2]* (pp. 151–154). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].

19. Khlebnikova, T. A., & Opritova, O. A. (2017). Experimental studies of contemporary software for modeling geospatial. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 22(1), 119–131 [in Russian].

20. Mukhtarova, A. M., Bratkov, V. V., Biktimirova, N. M., Mukhtarova, G. M., Bekshokova, P. V., & Nakhibasheva, G. M. (2018). Mapping of ranges of model species of the animal population of the Republic of Dagestan. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie [South of Russia: Ecology, Development]*, 13(4), 68–85. doi: 10.18470/1992-1098-2018-4-68-85.

21. Khokhlova, E. S., Osadchaya, G. G., & Ovcharuk, T. A. (2013). *Ekologicheskoe kartografirovaniye [Environmental mapping]*. Ukhta: Ukhta State Technical University Publ., 252 p. [in Russian].

22. Redford, K. H., Coppolillo, P., Sanderson, E. W., Da Fonseca, GAB, Dinerstein, E., Groves, C., Mace, G., Maginnis, S., Mittermeier, R.A., Noss, R., Olson, D., Robinson, J. G., Vedder, A., & Wright, M. (2003). Mapping the conservation landscape. *Biological Conservation*, 116–131. doi: 10.1046/j.1523-1739.2003.01467.x.

23. Description and receiving SRTM data. (n. d.). Retrieved from <http://srtm.csi.cgiar.org/srtmdata/>.

24. Guk, A. P., Evstratova, L. G., Khlebnikova, E. P., Altyntsev, M. A, Arbuzov, S. A., Gordienko, A. S., Guk, A. A., Simonov, D. P. (2013). Development of techniques for automated decoding of aerospace images. Object picture interpretive features on multispectral satellite images. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 7, 31–40 [in Russian].

25. Сабиров, R. N., & Сабирова, N. D. (2004). Sakhalin natural reserve "Eastern": forests and florocoenotypes diversity. *Vestnik Sakhalinskogo muzeya [Bulletin of Sakhalin Museum]*, 11, 398–413 [in Russian].

26. Vovk, I. G. (2012). Mathematical modeling in Applied Geoinformatics. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 1(17), 94–103 [in Russian].

27. Vovk, I. G., & Bugakova, T. Yu. (2014). Choice of variant of change of space-time state of systems in Applied Geoinformatics. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 1(25), 145–152 [in Russian].

28. Dyshlyuk, S. S., Nikolaeva, O. N., Sukhorukova, S. A., & Romashova, L. A. (2011). Scientific and methodical bases of formalization of processes of drawing up of thematic maps for realization of instrumental reference and analytical information system. *Vestnik SGGA [Vestnik SSGA]*, 1(14), 49–54 [in Russian].

29. Martin, J., Revilla, E., Quenette, P.-Y., & et. al. (2012). Brown bear habitat suitability in the Pyrenees: Transferability across sites and linking scales to make the most of scarce data. *Journal of Applied Ecology*, 9(3), 621–631. doi: 10.2307/23259059.

Received 03.10.2019

© I. V. Nikulina, I. G. Minerviv, V. A. Melkiy, A. V. Radchenko, 2020