

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
Институт экологии и географии  
Кафедра географии

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
Г. Ю. Ямских  
подпись инициалы, фамилия  
«\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2021 г.

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

05.04.06 Экология и природопользование

05.04.06.03 Геоэкология

**Динамика границ ареалов древесной растительности Центральной Сибири  
в 21 веке на основе данных дистанционного зондирования**

Научный руководитель \_\_\_\_\_  
подпись, дата \_\_\_\_\_  
доц., канд. техн. наук  
должность, учёная степень \_\_\_\_\_  
С. Т. Им  
инициалы, фамилия

Выпускник \_\_\_\_\_  
подпись, дата \_\_\_\_\_  
К. А. Степанов  
инициалы, фамилия

Рецензент \_\_\_\_\_  
подпись, дата \_\_\_\_\_  
канд. биол. наук  
должность, учёная степень \_\_\_\_\_  
А. С. Шушпанов  
инициалы, фамилия

Нормоконтролер \_\_\_\_\_  
подпись, дата \_\_\_\_\_  
И. А. Вайсброт  
инициалы, фамилия

Красноярск 2021

## **СОДЕРЖАНИЕ**

Введение.....	3
1 Применение ГИС в изучении изменения климата земли .....	6
1.1 Общие сведения о ГИС.....	6
1.2 ГИС и экология.....	14
1.3 Биоиндикация .....	17
2. Изучение динамики границ древостоев (экотонов).....	22
2.1 Общие теоретические и методологические аспекты.....	22
2.2 Работы отечественных исследователей .....	25
2.3 Работы зарубежных исследователей.....	29
3 Основная часть .....	37
3.1 Объект исследования .....	37
3.2 Физико-географическая характеристика территории исследования .....	39
3.3 Используемые материалы .....	42
3.4 Методика обработки материалов и выделения границы лесов.....	45
3.5 Анализ и обсуждение результатов .....	50
Заключение .....	53
Список использованных источников .....	55
Приложение А Графики изменения температуры, суммы годовых осадков	62
Приложение Б Графики изменения осадков и эвапотранспирации за летний период .....	63

## **ВВЕДЕНИЕ**

В экологических системах постоянно присутствуют трансформационные процессы, их динамику сложно отследить в силу очень длительного по времени генезиса. Ярким примером трансформационных процессов служат леса северной части России. Исследования данной территории классическими полевыми методами в виду ее мало освоенности, труднодоступности и суровости климата усложнены и затратны.

Оптимальным решением проблемы исследования территории будет использование ГИС технологий. Применяя ГИС повышается эффективность исследования текущего состояния, а также трансформационных процессов длительных во времени, так как данные со спутников и составленные в полевых условиях могут быть доступны для достаточно длинного периода для получения удовлетворительного результата. Огромное значение имеют многолетние данные космической съемки для дистанционного зондирования и как следствие проведения климатологических исследований и изучения Земли как целостной экологической системы.

Актуальность данного исследования заключается в проведении дистанционного анализа текущего состояния и динамики ареалов лиственничных древостоев на севере центральной Сибири. Данная территория труднодоступная и малоизученная, проведение полевых исследований затратно и требует огромного количества времени, исследование будет проведено исключительно в дистанционном формате при помощи доступных данных дистанционного зондирования и инструментов для их обработки.

Целью данного исследования является проведение геоинформационного анализа северной границы лиственничных древостоев на территории центральной Сибири.

Задачи исследования:

1. Изучить существующие исследования и наработки по теме исследования, изучить методические и практические аспекты применения ГИС

технологий в изучении трансформационных процессов;

2. Разработать методику построения и анализа северной границы лиственничных древостоев центральной Сибири на основе данных дистанционного зондирования Земли и ГИС;

3. Собрать необходимый материал для проведения исследования, систематизировать, обработать, с целью построения северной границы древостоев;

4. Провести анализ изменения северной границы лиственничных древостоев и выявить взаимосвязь с климатическими трендами;

5. Полученный результат использовать для прогнозирования развития древостоев на севере России с учетом современных тенденций климата в 21 веке;

Объект исследования: лиственничные древостои, древесные сообщества рода *Larix* и видов *Sibirica* и *Gmelini*, произрастающие в центральной Сибири.

Предмет исследования: инструменты программного пакета и геообработки ESRI ArcGIS, картографические материалы и климатические данные.

**Научная новизна и теоретическая значимость** данной исследовательской работы заключается в получении и обработке автором материалов, которые позволяют оценить состояние сомкнутости лиственничных древостоев в северной части Центральной Сибири на протяжении 2000–2015 годов. Результаты и выводы работы дают знания о состоянии сомкнутости по истечению длительного периода и причин ее изменения.

**Практическая значимость исследования** определяется возможностью применения полученных результатов для прогнозирования и оценки состояния сомкнутости лиственничных древостоев на территории Центральной Сибири, а также возможность применения методики для других труднодоступных территорий, важной чертой исследования является скорость получения результата и возможность проведения исследования без полевых работ.

**Исходные материалы и личный вклад автора.** Работы выполнена на кафедре географии Института экологии и географии Сибирского Федерального университета под руководством канд. техн. наук. – Има Сергея Тхекдеевича. Автором проведены сбор, обработка, систематизация литературной информации по теме исследования.

В работе представлен материал, характеризующий лесную растительность на севере Центральной Сибири, а именно лиственничные древостои и их динамику на протяжении периода 2000–2015 г. Так же представлены климатические данные за период с 1991 года по 2020 год. Материалами послужили данные GFCC v3, предоставляющие информацию о кронах деревьев, и климатические данные CRU TS v4.05, предоставляющие информацию о различных климатических показателях за период от 1901 года по 2020 год.

**Апробация работы.** По теме диссертации опубликовано 2 работы, материалы которых представлены заочно на XI Международной научно-практической конференции молодых ученых в г. Брест, а так же XIII Международной научно-практической конференции молодых ученых в г. Абакан. Еще одна работа «динамика границы лиственничных древостоев в Южной Сибири по данным дистанционного зондирования» будет опубликована в июле в XVII сборнике Большого географического фестиваля посвященному 195-летию со дня начала российского кругосветного путешествия под руководством Ф. П. Литке (1826–1829 гг.)

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе данного исследования на основе анализа материалов дистанционного зондирования со спутников Landsat (продукт GFCC30TC) было выявлено продвижение границы сомкнутых лиственничных лесов на север на участках не имеющих естественных барьеров (в виде рельефа местности и особенностей местного климата) в начале 21-м века. В целом, полученные в данной работе результаты и ряд подобных исследований других авторов для разных регионов указывают на неоднородную динамику граница произрастания древостоев [4, 5, 23, 27, 31, 33, 41, 45].

Увеличение температуры способствует росту лиственницы и, как следствие, увеличению сомкнутости. В среднем, для исследуемой территории характерно увеличение среднегодовой температуры от 0,8 – 1 °C. Рост температур в теплый период способствовал продвижение границы сомкнутых лиственничных лесов на север. Ранее проводимые в 2019 году исследование, также показало смещение границ ареалов лиственничных древостоев. Однако, из-за более мелкого масштаба использованных данных, оценка смещения северной границы древостоев отличалась. Но, в целом, заключение об общей тенденции продвижения границы на север соответствует текущему исследованию [23]. Полученные данные согласуются с результатами исследований Maret et al., проведенные для всего северного полушария [56]. Такой же результат показали исследования, проведенные ранее [23, 24] Степановым К. А. Исследования [23, 24] были осуществлены по идентичной методологии, но с использованием другого набора данных (MCD12Q1). Исследовалась вся северная часть России на момент продвижения лиственничных древостоев. Исследования показало наличие как положительной, так и отрицательно динамики, отрицательная динамика была связана с переувлажнением территории, а положительная динамика была следствием увеличения температуры и увеличению продолжительности

периода вегетации, это характерно для все северной территории, но локальные условия вносят свою коррективу на произрастание лиственницы.

Увеличение температуры является ключевым фактором для увеличения сомкнутости лиственницы, но также исследователями отмечается изменения в более южных широтах. Так, при определенных условиях на юге из-за увеличения температуры и засушливости леса отступает на север, теряется сомкнутость. Однако для северной границы сомкнутых лиственничных лесов, при сохранении текущих климатических трендов, продвижение на север границы сомкнутых лиственничных лесов продолжится.

Данное исследование показало возможность изучения древостоев и их состояния при помощи ГИС технологий на основе материалов дистанционного зондирования Земли. Применение ГИС не может гарантировать точные результаты в случае наличия больших погрешностей в исходных данных, т.е. от качества данных зависит результат исследования, но не менее важным является методика, применяемая при проведении исследования. Стоит упомянуть, что северные территории остаются малоизученными в силу их расположения и суровости климата, и применение дистанционного зондирования является актуальной и необходимой научной задачей, требующей развития способов получения и обработки данных.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Бобров, Е. Г. История и систематика лиственниц / Е. Г. Бобров. – Санкт–Петербург : Наука, 1972.– 96 с.
2. Бурша, М. Основы космической геодезии / М. Бурша; под. ред. А. В. Буткевича. – Москва : «Недра», 1975. – 280 с.
3. Вертикальный и горизонтальный сдвиги верхней границы редколесий и сомкнутых лесов в XX столетии на Полярном Урале / С. Г. Шиятов, М. М. Терентьев, В. В. Фомин, Н. Е. Циммерман // Экология. – 2007. – №4 – С. 1–6.
4. Дистанционное зондирование [Электронный ресурс] : электронный журнал об авиации. – Режим доступа: <http://avia.pro>.
5. Дистанционное зондирование [Электронный ресурс] : электронный словарь, содержит термины и определения. – Режим доступа: <https://dic.academic.ru>.
6. Жуков, А. Б. Леса СССР / А. Б. Жуков. – Москва : Наука, 1969. – Т. 4. – 767 с.
7. Зибзееев, Е. Г. Структура экотона между лесным и высокогорным поясами гор Южной Сибири / Е. Г. Зибзееев, В. П. Седельников // Растительный мир Азиатской России. – 2010. – № 2(6) – С. 46–49.
8. Иванова, Ю. Д. Моделирование сдвига границ растительных экотонов горных экосистем под воздействием климата / Ю. Д. Иванова, В. Г. Суховольский // Сложные системы в экстремальных условиях. – 2018. – С. 93 – 95.
9. Ивлиева, Н. Г. Об опыте применения ГИС-технологий для изучения изменений среднегодовой температуры воздуха на территории европейской части России / Н. Г. Ивлиева, В. Ф. Манухов, Р. Б. Шайкунова // ИНТЕРКАРТО. ИНТЕРГИС. – 2019. – №25 (2). – С. 121–132.

10. Им, С. Т. Климатически индуцированные изменения в экотоне альпийской лесотундры плато Пutorана / С. Т. Им, В. И. Харук // Исследование Земли из космоса. – 2013. – №5. – С. 32–44.
11. Космоснимки высокого разрешения в анализе временной динамики экотона лесотундры / В. И. Харук [и др.] // Исследование Земли из космоса. – 2005. – №6. – С. 46–55.
12. Кравцова, В. И. Методические подходы в аэрокосмических исследованиях динамики северной границы леса / В. И. Кравцова // География и природные ресурсы. – 2012. – №3 – С. 133–139.
13. Кринов, Е. Л. Спектральная отражательная способность природных образований / Е. Л. Кринов. – Москва : Изд–во АН СССР, 1947. – 138 с.
14. Крэкнелл, А. П. Дистанционное зондирование в метеорологии, океанографии и гидрологии / А. П. Крекнелл; перевод с английского К. Н. Лаврова, С. И. Щетилова, А. Д. Терехова. – Москва : Мир, 1984. – 547 с.
15. Милютин, Л. И. Биоразнообразие лиственниц России / Л. И. Милютин // Хвойные бореальной зоны. – 2006.– №1.– С. 6 – 9.
16. Мишев, Д. Дистанционные исследования Земли из космоса / Д. Мишев. – Москва : Мир, 1985. – 230 с.
17. Норин, Б. Н. Ары–Мас : природные условия, флора и растительность / Б. Н. Норин. – Ленинград : Наука, 1978. – 190 с.
18. Применение данных дистанционного зондирования для анализа состояния и нарушенности лесного покрова, вызванного антропогенными и естественными факторами / А. И. Сухинин [и др.] // Технологии гражданской безопасности. – 2004. – С. 78–80.
19. Пудовкин, О. Л. Дистанционное зондирование Земли из космоса: прикладные задачи лесного хозяйства [Электронный ресурс] : электронная книга. – Режим доступа: <http://magru.net>.
20. Раклов, В. П. Картография и ГИС : учебное пособие / В. П. Раклов ; Государственный университет по землеустройству. – Москва : ООО "Научно–издательский центр ИНФРА–М", 2021. – 215 с.

21. Самардак, А. С. Геоинформационные системы: учебное пособие / А.С. Самардак. – Владивосток: ТИДОТ ДВГУ, 2005. – 123 с.
22. Среднесибирское плоскогорье // Большая советская энциклопедия : [в 30 т.] / гл. ред. А. М. Прохоров. – 3–е изд. – Москва : Советская энциклопедия, 1969. – С. 579-580.
23. Степанов, К. А. Методология изучения северной границы лесов по данным дистанционного зондирования и ГИС // Устойчивое развитие: региональные аспекты. Сборник материалов XI Международной научно-практической конференции молодых ученых: Брест. гос. техн. ун–т, 2019. – С. 434 – 436.
24. Степанов, К. А. Features of using GIS technologies for observation of dynamics of the northern border of larch forests // Инновационные тенденции развития российской науки [Электронный ресурс]: мат–лы XIII междунар. науч.–практ. конф. молод. учен. (8–9 апреля 2020 г.). Часть II / Краснояр. гос. аграр. ун–т. – Красноярск, 2020. – С. 189 – 191.
25. Сукачев, В. Н. К истории развития лиственниц / В. Н. Сукачев // Лесное дело. – 1924. – С. 12 – 44.
26. Трифонов, Е. В. Таймыр. Физическая география : учебное пособие / Е. В. Трифонов. – Норильск, 2003. – 103 с.
27. A mangrove forest map of China in 2015: analysis of time series Landsat 7/8 and sentinel-1A imagery in Google earth engine cloud computing platform / B. Chen, and others. // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2017. – Vol. 131. – P. 104–120.
28. A method for trend-based change analysis in Arctic tundra using the 25–year Landsat archive / R. Fraser and others // Polar Record. – 2011. – Vol. 48, Iss. 1. – P. 83 – 93.
29. Accuracy assessment of land surface temperature retrievals from Landsat 7 ETM + in the Dry Valleys of Antarctica using iButton temperature loggers and weather station data / L. Brabyn, P. Zawar-Reza, G. Stichbury, C. Cary, B. Storey,

D. C. Laughlin, M. Katurji // Environmental Monitoring and Assessment. – 2013. – Vol. 186. – P. 2619 – 2628.

30. Altitudinal and horizontal shifts of the upper boundaries of open and closed forests in the Polar Urals in the 20th century / S. G. Shiyatov, M. M. Terent'ev, V. V. Fomin, N. E. Zimmermann // Russian Journal of Ecology. – 2007. – Vol. 38, Iss. 4. – P. 223–227.

31. Are treelines advancing? A global meta-analysis of treeline response to climate warming / M. A. Harsch, and others. Ecology Letters. – 2009. – Vol. 12, Iss. 10. – P. 1040 – 1049.

32. Bruggeman, D. Forest cover changes in Bhutan: Revisiting the forest transition / D. Bruggeman, P. Meyfroidt, E. F. Lambin // Applied Geography. – 2016. – Vol. 67. – P. 49 – 66.

33. Can tree species diversity be assessed with Landsat data in a temperate forest? / A. Maliheh, Y. Y. Osman, Y. Hatice, F. A. Yasar. // Environmental Monitoring and Assessment. – 2017. – Vol. 189. – P. 586 – 600.

34. Climate-induced mountain tree-line evolution in southern Siberia / V. I. Kharuk, S. T. Im, M. L. Dvinskaya, K. J. Ranson // Scandinavian Journal of Forest Research. – 2010. – Vol. 25, Iss. 5. – P. 446 – 454.

35. Cristobal, J. Modeling air temperature through a combination of remote sensing and GIS data / J. Cristobal, M. Ninyerola, X. Pons // Journal of Geophysical Research: Atmospheres. – 2008. – Vol. 113, Iss. D13. – P. 106 – 119.

36. Crudata [Электронный ресурс] : база данных содержит обзор продукции CRU TS. – Режим доступа: <https://crudata.uea.ac.uk>.

37. Earthdata [Электронный ресурс] : база данных содержит информацию о продукции GFCC30T. – Режим доступа: <https://earthdata.nasa.gov>.

38. Ecotone [Электронный ресурс] : электронная энциклопедия. – Режим доступа: <https://en.wikipedia.org>.

39. ERDAS Field Guide : field guide / USA : ERDAS, Inc., 2010. – 842 p.

40. Fritts, H. C. Reconstruction large-scale climatic patterns from tree-ring data : A diagnostic analysis. / H. C. Fritts. – Tucson : University of Arizona Press, 1991. – 286 p.
41. Global assessment of experimental climate warming on tundra vegetation: heterogeneity over space and time / S. C. Elmendorf. and others // Ecology Letters. – 2012. – Vol. 15, Iss. 2. – P. 164 – 175.
42. Global Forest Watch [Электронный ресурс] : база данных содержит картографический материал о потерянных лесах за период с 2000 по 2020 год. – Режим доступа: <https://www.globalforestwatch.org>.
43. Grace, J. Impacts of climate change on the tree line / J. Grace, F. Berninger, L. Nagy // Annals of Botany. – 2002. – Vol. 90, Iss. 4. – P. 537 – 544.
44. Grigoriev, A. N. Method of radiometric distortion correction of multispectral data for the earth remote sensing / A. N. Grigoriev // Scientific and Technical Journal of Information Technologies, Mechanics and Optics. – 2015. – Vol. 15, Iss. 4. – P. 595–602.
45. Holtmeier, F–K. Sensitivity and response of northern hemisphere altitudinal and polar treelines to environmental change at landscape and local scales / F–K. Holtmeier, G. Broll // Global Ecology and Biogeography. – 2005. – Vol. 14, Iss. 5. – P. 395 – 410.
46. Holtmeier, K–F. Altitudinal and polar treelines in the northern hemisphere causes and response to climate change / F–K. Holtmeier, G. Broll // Polarforschung. – 2010. – Vol. 79, Iss. 3. – P. 139 – 153.
47. Hustich, I. The boreal limits of conifers / I. Hustich // Arctic. – 1953. – Vol. 6. – P. 149–162.
48. Mills, J. P. Photogrammetry from Archived Digital Imagery for Seal Monitoring / J. P. Mills, I. Newton, S. D. Twiss // The Photogrammetric Record. – 1997. – Vol. 15, Iss. 89. – P. 715–724.
49. Mitchell, T. D. An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high resolution grids / T. D. Mitchell,

P. D. Jones // International Journal of Climatology. – 2005. – Vol. 25, Iss. 6. – P. 693–712.

50. Parkinson, C. L. Earth Science Reference Handbook : A Guide to NASA's Earth Science Program and Earth Observing Satellite Missions / C. L. Parkinson, A. Ward, M. D. King. – Washington : NASA, 2006. – 290 p.

51. Phol, C. Multisensor image fusion in remote sensing: concepts, methods and applications / C. Phol, J. L. van Genderen // International Journal of Remote Sensing. – 1998.– Vol. 19, Iss. 5. – P. 823–854.

52. Remote sensing. [Электронный ресурс] : электронная энциклопедия. – Режим доступа: <https://en.wikipedia.org>.

53. Rinn, F. TSAP V 3.6 Reference manual: computer program for tree-ring analysis and presentation / F. Rinn. – Germany, Heidelberg, 1996. – 263 p.

54. Rosenfield, G. H. A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy / G. H. Rosenfield, K. Fitzpatrick-Lins // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 1986.– Vol. 52, Iss. 2. – P. 223–227.

55. Rupesh, R. B. Assessing vegetation changes in timberline ecotone of Nanda Devi National Park, Uttarakhand / R. B. Rupesh, S. A. Bhupendra, S. R. Gopal // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. – 2012. – Vol. 18. – P. 472 – 479.

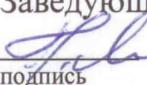
56. Shifting global Larix distributions: Northern expansion and southern retraction as species respond to changing climate / S. D. Mamet, C. D. Brown, A. J. Trant, C. P. Laroque // Journal of Biogeography. – 2018. – P. 30 – 44.

57. SPEI [Электронный ресурс] : база данных, содержащая файлы климатических данных, покрывающих всю территорию планеты. – Режим доступа: <http://spei.csic.es>.

58. Twiss, S. D. Topographic spatial characterisation of grey seal *Halichoerus grypus* breeding habitat at a sub-seal size spatial grain / S. D. Twiss, P. Pomeroy, C. J. Thomas // Ecography. – 2001. – Vol. 24, Iss. 3. – P. 257–266.

59. Warming-induced upward migration of the alpine treeline in the Changbai Mountains, northeast China / H. Du and others // Global Change Biology. – 2018. – Vol. 24, Iss. 3. – P. 1256 – 1266.
60. Welch, R. Merging multiresolution SPOT HRV and Landsat TM data / R. Welch, W. Ehlers // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. – 1987. – Vol. 53, Iss. 3. – P. 301–303.

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение  
высшего образования  
**«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**  
Институт экологии и географии  
Кафедра географии

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий кафедрой  
  
подпись Г. Ю. Ямских  
ициалы, фамилия  
«21 » июня 2021 г.

## ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

05.04.06 Экология и природопользование

05.04.06.03 Геоэкология

**Динамика границ ареалов древесной растительности Центральной Сибири  
в 21 веке на основе данных дистанционного зондирования**

Научный  
руководитель

 09.06.21  
подпись, дата

доц., канд. техн. наук  
должность, учёная степень

С. Т. Им  
ициалы, фамилия

Выпускник

 09.06.21  
подпись, дата

К. А. Степанов  
ициалы, фамилия

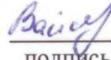
Рецензент

 18.06.21  
подпись, дата

канд. биол. наук  
должность, учёная степень

А. С. Шушпанов  
ициалы, фамилия

Нормоконтролер

 09.06.21  
подпись, дата

И. А. Вайсброт  
ициалы, фамилия

Красноярск 2021