

Муниципальное казенное общеобразовательное учреждение  
«Средняя общеобразовательная школа п. Пластун»  
Тернейского муниципального округа  
Приморского края

Всероссийский конкурс юных исследователей  
окружающей среды имени Б.В. Всесвятского  
Номинация: «Геоинформатика»

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ТАЙФУНА «ЛАЙОНРОК»  
НА ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ НА ПРИМЕРЕ БАССЕЙНА  
РЕКИ ПОЛУДЕННАЯ

*Исследовательская работа*

Выполнили: Бегунова Дана Денисовна,  
Кечкина Мария Сергеевна,  
Якимчик Александр Вадимович,  
обучающиеся 11 класса

Руководитель: Мирчук Лариса Викторовна,  
учитель географии МКОУ СОШ п. Пластун  
Консультант: Сало Михаил Александрович,  
научный сотрудник Сихотэ-Алинского  
государственного природного биосферного  
заповедника имени К.Г. Абрамова

Уникальность текста: 78 %

Тернейский муниципальный округ

2025

## Оглавление

Введение.....	3
Глава 1. Обзор литературы.....	4
Глава 2. Материалы и методика.....	4
Этапы исследования .....	5
Глава 3. Результаты исследований и их обсуждение .....	6
Выводы .....	9
Заключение.....	10
Список литературных и электронных источников.....	11
Приложение .....	12

## Введение

Актуальность темы. Леса занимают 31% площади суши и играют ключевую роль в глобальном регулировании климата. Однако изменение климата ведет к трансформации структуры лесного покрова: возрастает частота катастрофических ветровалов, лесных пожаров и вспышек численности вредителей.

Для эффективного лесоуправления на больших территориях необходимо получение оперативной информации, что делает использование данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) безальтернативным методом мониторинга.

Особую актуальность исследование приобретает в свете прогнозов климатологов: в XXI веке ожидается усиление влияния тайфунов на леса юга Дальнего Востока. Настоящая работа посвящена оценке нарушений лесного покрова, вызванных воздействием супертайфуна «Лайонрок» (2016 г.) в Центральном Сихотэ-Алине, и анализу дальнейшей судьбы поврежденных древостоев.

Проблема. Тайфун «Лайонрок» уничтожил древостой на значительной территории Сихотэ-Алинского заповедника. Для понимания экологических последствий таких явлений недостаточно оценить только мгновенный ущерб. Необходим анализ постветровальной динамики: как ведут себя экосистемы спустя годы? Происходит ли восстановление или деградация? Для решения этой проблемы мы оценили состояние лесного покрова на примере бассейна р. Полуденная в первый год после тайфуна (2017 г.) и спустя 6 лет (2022 г.), используя архив космической съемки спутников Landsat 8 и Landsat 9.

Цель исследования: оценка пространственно-временной динамики лесных экосистем бассейна реки Полуденная, подвергшихся воздействию тайфуна «Лайонрок», с применением ГИС-технологий.

Задачи:

1. Оценить масштабы первичного воздействия тайфуна «Лайонрок» на лесные экосистемы бассейна реки Полуденная.
2. Сформировать базу данных спутниковых снимков (2015, 2017, 2022 гг.) и провести их предварительную обработку.
3. Рассчитать вегетационные индексы (NDMI) для выявления зон нарушений.
4. Определить наиболее пострадавшие типы лесных формаций.
5. Проанализировать динамику состояния растительного покрова в постветровальный период (2017–2022 гг.) и выявить факторы вторичных нарушений.

Объект исследования: лесной покров бассейна реки Полуденная (Сихотэ-Алинский заповедник).

Предмет исследования: изменения спектральных характеристик растительности под воздействием природных факторов (ветровал, пожары, сукцессионные процессы).

## Глава 1. Обзор литературы

Тайфуны — это разновидность тропических циклонов, характерных для северо-западной части Тихого океана, оказывающих мощное воздействие на прибрежные экосистемы Евразии. Несмотря на регулярность таких явлений, исследования их влияния на структуру бореальных лесов остаются актуальной научной задачей.

Тайфун «Лайонрок» (Lionrock), обрушившийся на Приморье в 2016 году, классифицируется как супертайфун. В период 16–24 августа он прошел сложную траекторию взаимодействия с другими циклонами («Kompasu» и «Mindulle»), что усилило его мощь.

К 29 августа скорость ветра в эпицентре достигала 60 м/с. На территорию Приморского края тайфун вышел в ночь с 31 августа на 1 сентября со стороны Японского моря. Скорость ветра в районе исследования составляла 15–30 м/с, однако разрушительный эффект был многократно усилен аномальным количеством осадков. В августе выпало 238 мм осадков, при этом 80 мм пришлось на пик шторма 29–30 августа [1]. Переувлажнение почвы привело к снижению ветроустойчивости деревьев, что вызвало массовые ветровалы.

По данным исследований, проведенных научным отделом Сихотэ-Алинского заповедника, «Лайонрок» привел к образованию крупных массивов ветровальной древесины, что существенно изменило пожарную и лесопатологическую обстановку в регионе [1, 2]. Использование методов космического мониторинга позволило оперативно закартировать зоны бедствия, однако детальный анализ восстановления растительности на этих участках требует дальнейшего изучения [2].

## Глава 2. Материалы и методика

**Характеристика района исследования.** Исследование проводилось в период с января по апрель 2024 года. В качестве модельного участка выбран бассейн реки Полуденная на территории Сихотэ-Алинского государственного природного биосферного заповедника имени К.Г. Абрамова (прил. 1 рис. 1). Река Полуденная является притоком первого порядка реки Колумбе. Площадь исследуемого водосборного бассейна составляет 36 558,7 га.

Рельеф горный, с перепадом высот от 420 до 1400 м над уровнем моря (средняя высота — 700 м).

Растительный покров представлен типичными для Центрального Сихотэ-Алиния формациями, где доминируют:

- Кедр корейский — *Pinus koraiensis* Siebold & Zucc.;
- Ель аянская — *Picea ajanensis* (Lindl. & Gordon) Fisch. ex Carr.;
- Пихта белокорая — *Abies nephrolepis* (Trautv. ex Maxim.) Maxim.;
- Береза ребристая (желтая) — *Betula costata* Trautv.;
- Береза плосколистная — *Betula platyphylla* Sukaczew.;
- Осина обыкновенная — *Populus tremula* L.;
- Лиственница Каяндера — *Larix cajanderi* Mayr.

Инструментарий. В исследовании применена методика использования геоинформационных систем (ГИС). ГИС — это система сбора, хранения, анализа и графической визуализации пространственных данных [3].  
Аппаратное и программное обеспечение:

- ПК на базе процессора AMD Ryzen 7;
- Программное обеспечение: QGIS [5], SAGA GIS [6], MS Excel.

Источники данных:

- Архив космических снимков спутников Landsat 8 и Landsat 9 за 2015 г. (до тайфуна), 2017 г. (первый год после тайфуна) и 2022 г. (постветровальный период).

- Векторный слой материалов лесоустройства заповедника (1979 г.), содержащий информацию о типах лесных формаций [7].

- Спутниковые снимки высокого разрешения (сервис Яндекс. Карты) для верификации результатов.

Этапы исследования

1. **Выбор вегетационного индекса.** Индикатором состояния растительности был выбран индекс NDMI (Normalized Difference Moisture Index — Нормализованный разностный индекс влажности). Он рассчитывается на основе комбинации ближнего инфракрасного (NIR) и коротковолнового инфракрасного (SWIR) диапазонов [4]. Выбор индекса обусловлен физикой процесса: живая хвоя и листва содержат влагу, тогда как ветровальная (мертвая) древесина теряет её. Резкое падение значений NDMI позволяет четко оконтурить зоны гибели древостоя.

2. **Обработка растровых данных.** Операции с космическими снимками выполнялись в среде QGIS с использованием модуля «Калькулятор растров» (прил. 1, рис. 2). Для выявления изменений были рассчитаны разностные изображения (Difference Image) для двух временных интервалов:

- 2015–2017 гг. — для оценки прямого ущерба от тайфуна.

- 2017–2022 гг. — для оценки постветровальной динамики.

3. **Классификация нарушений.** На основе обучающих полигонов (прил. 1 рис. 3) была проведена классификация разностных снимков с выделением трех классов состояния:

- Класс 1 (Значительные нарушения): резкое падение влагосодержания (гибель древостоя, ветровал, гарь).

- Класс 2 (Стресс): незначительное снижение индекса (угнетение растительности, повреждение крон).

- Класс 3 (Стабильное состояние): отсутствие значимых изменений.

*Важное примечание:* для периода 2017–2022 гг. класс «Стабильное состояние» интерпретируется как отсутствие *новых* нарушений (вторичных ветровалов или пожаров), а не как полное восстановление исходной экосистемы.

4. **Пространственный анализ.** Для сопоставления спутниковых данных с типами леса использовался метод пересечения растрового и векторного слоев. В модуле «Raster pixels to points» была создана регулярная

сетка точек (прил. 1 рис. 5). Далее в программе SAGA GIS [6] каждой точке были присвоены атрибуты: «Класс изменения» (по спутнику) и «Тип леса» (по лесоустройству 1979 г.). После фильтрации данных (удаления точек, попавших на облака и тени) итоговая выборка составила более 350 тыс. точек. Агрегация данных позволила рассчитать площади нарушений для каждой древесной породы.

**5. Верификация.** Проверка точности классификации проводилась путем визуального сравнения полученных карт с высокодетальными снимками Яндекс (прил. 1 рис. 7), на которых отчетливо дешифрируются стволы поваленных деревьев.

### Глава 3. Результаты исследований и их обсуждение

#### 3.1. Распределение лесных формаций

В результате пространственного анализа, выполненного путем наложения масок облачности и теней на карту растительности, итоговая площадь исследуемых лесных участков бассейна реки Полуденная составила 31 191 га.

Распределение основных лесообразующих пород, полученное в ходе оцифровки материалов лесоустройства [7], представлено в таблице 1 (прил. 1 рис. 9). Доминирующей формацией являются елово-пихтовые леса (54% от исследуемой площади), что характерно для темнохвойной тайги Центрального Сихотэ-Алиня.

Таблица 1

Распределение типов леса р. Полуденная

Таблица 1. Распределение типов леса р.Полуденная	
Лесная формация	Площадь, га
Кедровые	8073.1
Елово-пихтовые	16859.3
Лиственничники	4823.8
Белоберезники	1262.6
Остальные	173.0
Итого	31191.8

#### 3.2. Оценка воздействия тайфуна (период 2015–2017 гг.)

Анализ разностных снимков за период прохождения тайфуна «Лайонрок» позволил выявить масштабные нарушения древостоя. Сравнение спектральных характеристик 2015 и 2017 годов показывает резкое падение индекса влажности NDMI, что интерпретируется нами как ветровал (полная гибель древостоя) или сильный стресс (частичное повреждение крон, наклон стволов).

По абсолютным показателям наибольший ущерб понесли **елово-пихтовые леса**: на площади **705,3 га** зафиксирована полная гибель древостоя

(ветровал), а **8026,9 га** перешли в состояние стресса (табл. 2). Это объясняется поверхностной корневой системой ели и пихты, которая не выдерживает ветровой нагрузки на переувлажненных почвах. Однако в процентном отношении наиболее уязвимой формацией оказались **белоберезники**: 8,28% их площади было уничтожено, а 66% находилось в угнетенном состоянии (табл. 3). Кедровые леса пострадали в меньшей степени: ветровал зафиксирован на 113,7 га (1,4% площади формации).

Верификация полученных данных с использованием снимков высокого разрешения (Яндекс.Карты) подтвердила наличие хаотично поваленных деревьев на участках, классифицированных нами как «Нарушение» (Класс 1), что коррелирует с результатами наземных исследований, проведенных сотрудниками заповедника [1, 2].

Таблица 2

### Состояние лесных формаций бассейна р. Полуденная

Лесные формации/год	Нет нарушений растительности		Незначительные нарушения (стресс)		нарушения (гибель древостоя)	
	2017 г	2022 г	2017 г	2022 г	2017 г	2022 г
Кедровые	4275.5	7957.4	3683.9	1.3	113.7	114.5
Елово-пихтовые	8127.0	16590.3	8026.9	8.9	705.3	260.0
Лиственничники	3058.7	4330.1	1732.2	0.1	32.9	493.7
Белоберезники	324.8	1249.7	833.3	0.9	104.5	12.0
Остальные	55.2	173.0	115.1	0.0	2.7	0.0

Таблица 3

### Структура состояния лесных формаций, 2015-2017 г.

Лесная формация	Нарушенный лес, %	Стресс, %	Нет нарушений, %
Кедровые	1.41	45.63	52.96
Елово-пихтовые	4.18	47.61	48.20
Лиственничники	0.68	35.91	63.41
Белоберезники	8.28	66.00	25.73
Остальные	1.56	66.55	31.89

### 3.3. Анализ постветровой динамики (период 2017–2022 гг.)

Анализ периода с 2017 по 2022 год выявил принципиально иную картину, которая требует осторожной экологической интерпретации. Согласно расчетным данным (табл. 4), более 98% площадей кедровых, елово-

пихтовых и березовых лесов перешли в категорию «Стабильное состояние» (отсутствие новых нарушений), а индекс NDMI вернулся к высоким значениям.

Мы интерпретируем эти данные следующим образом:

1. **Отсутствие массовой гибели.** Высокий процент стабильных пикселей (98,5% для кедра и 98,4% для ели) указывает на то, что уцелевшие после тайфуна массивы леса успешно адаптировались и за прошедшие 5 лет не подверглись новым масштабным ветровалам.

2. **Эффект «зеленой маски».** На участках ветровалов 2016 года возвращение высоких показателей индекса влажности (NDMI) свидетельствует не о восстановлении древостоя (что невозможно за 6 лет), а о бурном развитии вторичной травянисто-кустарниковой растительности и поросли мелколиственных пород. Эта молодая биомасса активно испаряет влагу, что фиксируется спутником как «здоровая растительность», маскируя лежащую мертвую древесину.

Исключением стали **лиственничники**. В этой формации зафиксирован высокий уровень новых нарушений — **10,23%** (или 493,7 га) площади перешло в категорию погибшего леса (табл. 4).

Детальный анализ снимков показал, что причиной стала не ветровая нагрузка, а прохождение **лесного пожара**. Это подтверждает гипотезу о том, что ветровалы, создавая большие запасы сухой горючей древесины, провоцируют возникновение пожаров, которые уничтожают даже устойчивые к ветру породы, такие как лиственница.

Таблица 4

Структура состояния лесных формаций, 2017-2022гг

Таблица 4. Структура состояния лесных формаций, 2017-2022 год			
2017-2022	Нарушенный лес, %	Стресс, %	Нет нарушений, %
Кедровые	1.42	0.02	98.57
Елово-пихтовые	1.54	0.05	98.40
Лиственничники	10.23	0.00	89.76
Белоберезники	0.95	0.07	98.98
Остальные	0.00	0.00	100.00

Таким образом, использование ГИС-анализа позволило не только оценить прямой ущерб от тайфуна, но и выявить зоны вторичного риска (пожары в лиственничниках), скрытые за общим фоном зарастания ветровалов.

## Выводы

На основании проведенного геоинформационного анализа воздействия тайфуна «Лайонрок» на лесные экосистемы бассейна реки Полуденная сделаны следующие выводы:

1. **Оценка первичного ущерба.** Установлено, что прохождение супертайфуна в 2016 году вызвало катастрофические нарушения лесного покрова. Суммарная площадь участков с полной гибелью древостоя (ветровалов) в первый год после стихии составила 923,5 га, а более 11 000 га лесов перешли в состояние физиологического стресса.

2. **Уязвимость формаций.** Наиболее пострадавшими в абсолютных величинах оказались доминирующие елово-пихтовые леса (705,3 га ветровалов). Однако максимальный относительный ущерб понесли белоберезники, потерявшие 8,28% своей площади, что свидетельствует о низкой ветроустойчивости вторичных мелколиственных лесов.

3. **Постветровальная динамика.** Анализ периода 2017–2022 гг. показал стабилизацию экологической обстановки. Более 98% площадей кедровых и еловых лесов классифицированы как «стабильные» (отсутствие новых нарушений). Возвращение индекса NDMI к высоким значениям на ветровальных участках объясняется не восстановлением коренного древостоя, а активной фазой сукцессии — разрастанием травянисто-кустарникового яруса и поросли, маскирующим погибшую древесину.

4. **Вторичные факторы риска.** Выявлено, что в постветровальный период наибольшую угрозу представляли лесные пожары. Именно этот фактор привел к гибели 10,23% площади лиственничников (493,7 га), которые успешно пережили сам удар ветра, но выгорели спустя несколько лет из-за ухудшения пожарной обстановки в бассейне.

5. **Эффективность методики.** Применение разностных вегетационных индексов (NDMI) доказало свою эффективность для оперативного мониторинга ООПТ. Метод позволяет не только фиксировать границы стихийных бедствий, но и разделять прямой ущерб от ветра и вторичные нарушения (пожары, усыхание) в долгосрочной динамике.

## Заключение

Воздействие тайфуна «Лайонрок» на лесные экосистемы – яркий пример уязвимости лесных сообществ. Хрупкость экосистем, на фоне резкого изменения климата и сильного антропогенного влияния, требует быстрых и эффективных мер мониторинга за их состоянием. Геоинформационные системы позволяют не только получать актуальную информацию о состоянии растительности на больших площадях, но и проследить динамику состояния на протяжении длительного периода.

В представленной работе нам удалось определить наиболее пострадавшие виды растений от воздействия тайфуна «Лайонрок» и выявить причины, представляющие опасность для лесных сообществ в постветровальный период.

Наши результаты могут быть использованы специалистами как лесного хозяйства для проведения санитарных мероприятий, направленных на спасение лесных экосистем, так и исследователями различных направлений.

## Список литературы

1. **Громыко М.Н.** Первые результаты изучения катастрофического влияния тайфуна «Лайонрок» на лесные экосистемы Сихотэ-Алинского заповедника // XII дальневосточная конференция по заповедному делу. — Биробиджан: ИКАРП ДВО РАН, 2017. — С. 35–37.
2. **Журкин И.Г., Шайтура С.В.** Геоинформационные системы. — М.: Кудиц-пресс, 2009. — 272 с.
3. **Материалы лесоустройства** Сихотэ-Алинского государственного природного биосферного заповедника имени К.Г. Абрамова. — Терней: Архив Сихотэ-Алинского заповедника, 1979.
4. **Сало М.А., Иванов А.В.** Картирование ветровальных участков на территории Сихотэ-Алинского заповедника с использованием космических снимков // Аграрный вестник Приморья. — 2021. — № 4 (24). — С. 85-87.
5. **NDMI: Normalized Difference Moisture Index** [Электронный ресурс]. — URL: <https://eos.com/ru/make-an-analysis/ndmi/> (дата обращения: 02.04.2024).
6. **QGIS: A Free and Open Source Geographic Information System** [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.qgis.org/en/site/index.html> (дата обращения: 02.04.2024).
7. **SAGA: System for Automated Geoscientific Analyses** [Электронный ресурс]. — URL: <https://saga-gis.sourceforge.io/en/index.html> (дата обращения: 02.04.2024).



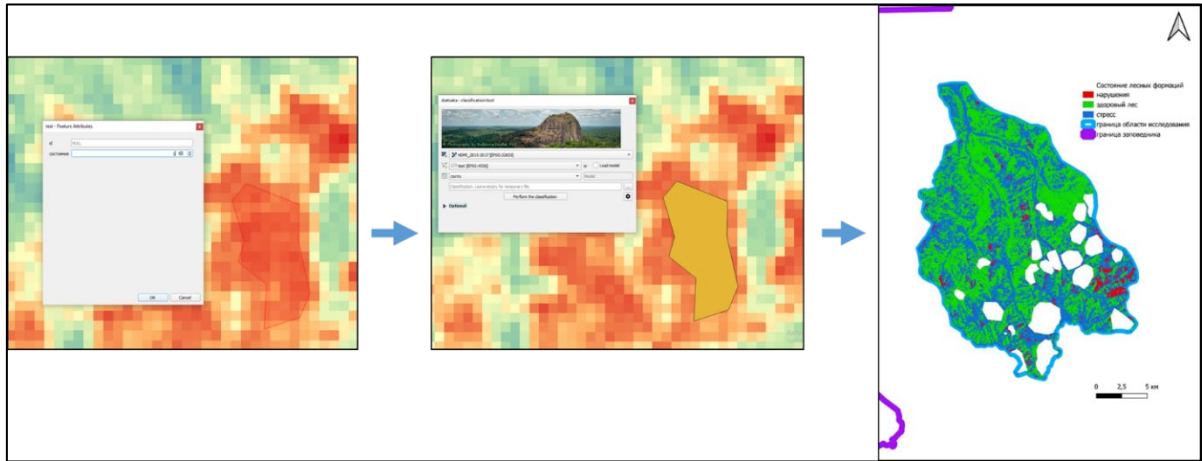


Рис. 3. Классификация растрового изображения с использованием обучающих полигонов и программы Dzedka.

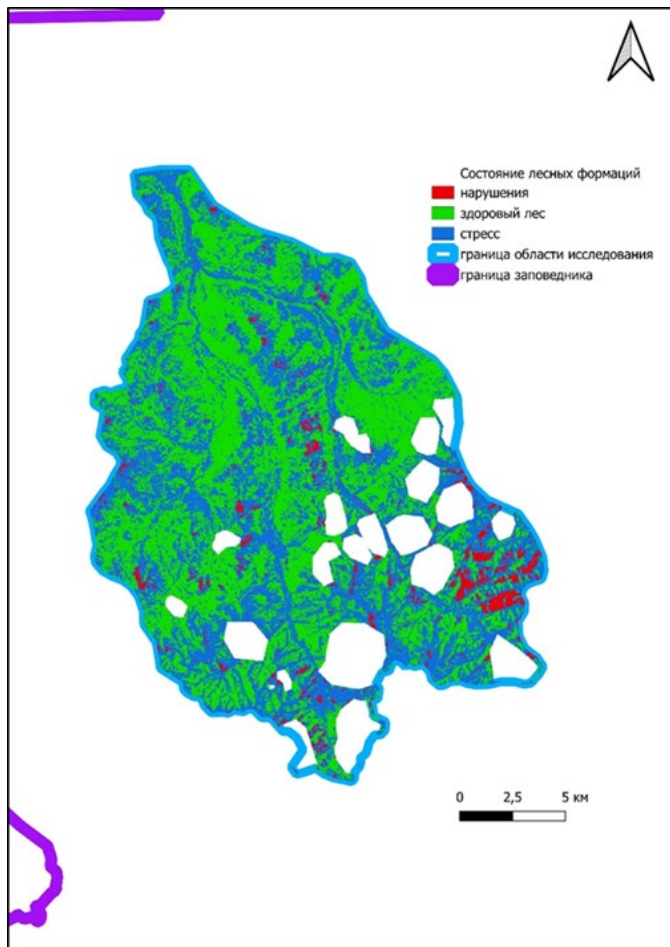


Рис. 4. Результат классификации изображения NDMI 2015-2017

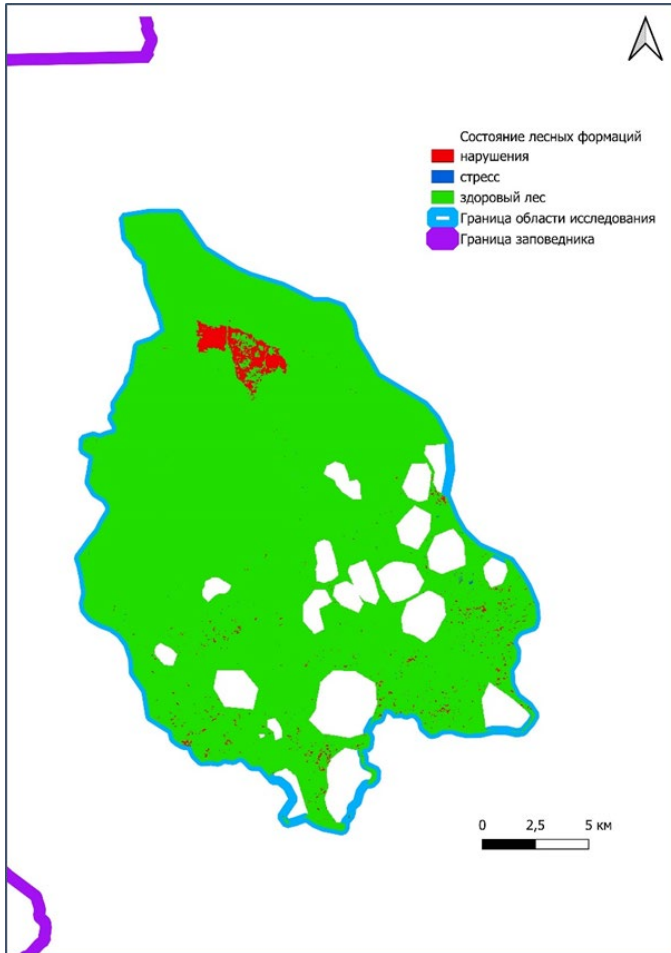


Рис. 5. Результат классификации NDMI 2017-2022

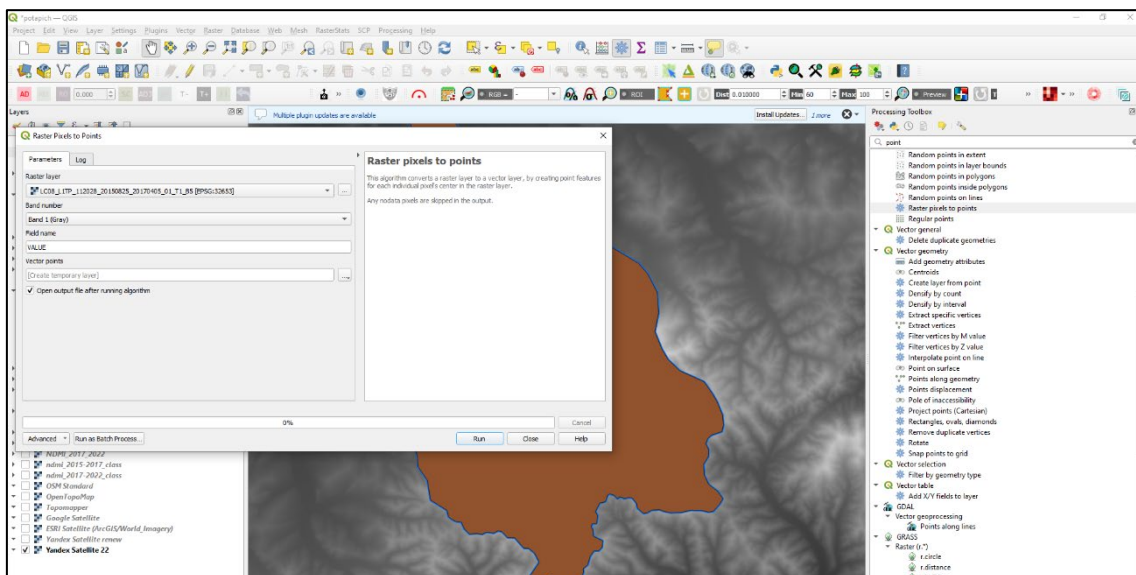


Рис. 6. Меню модуля "Raster pixels to points"

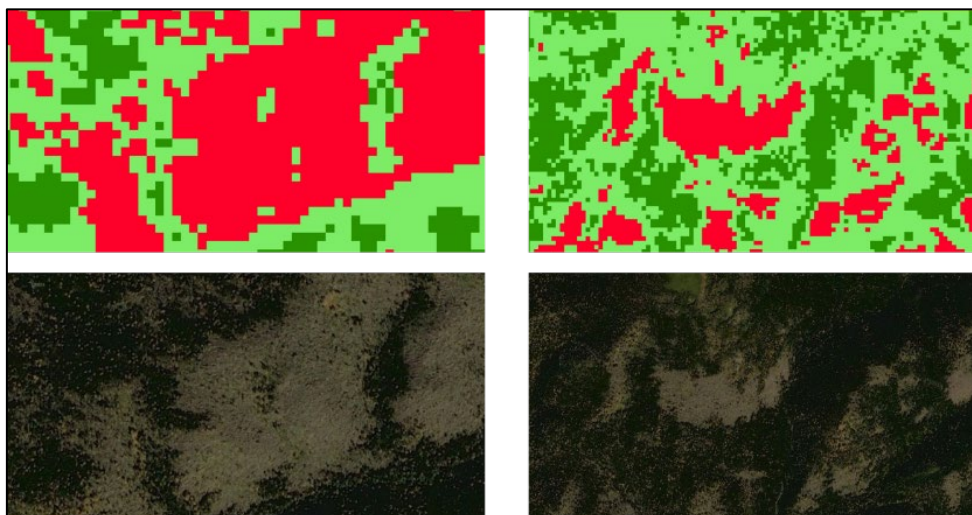


Рис. 7. Верификация результата классификации NDMI 2015-2017. Красным-нарушение в лесном покрове, светло-зеленый - стресс, темно зеленый - нет нарушений.

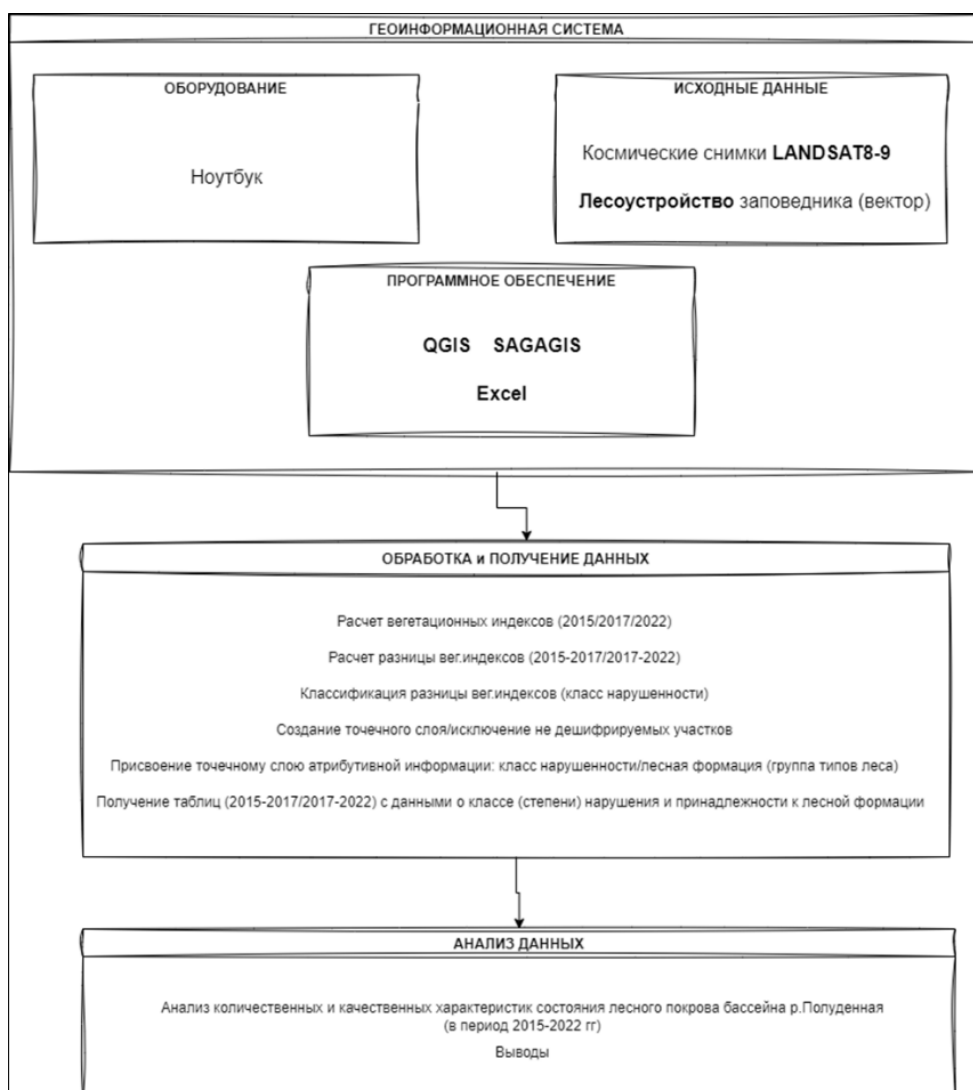


Рис. 8. Блок-схема методики исследования



Рис. 9. Распределение площадей лесных формаций р. Полуденная

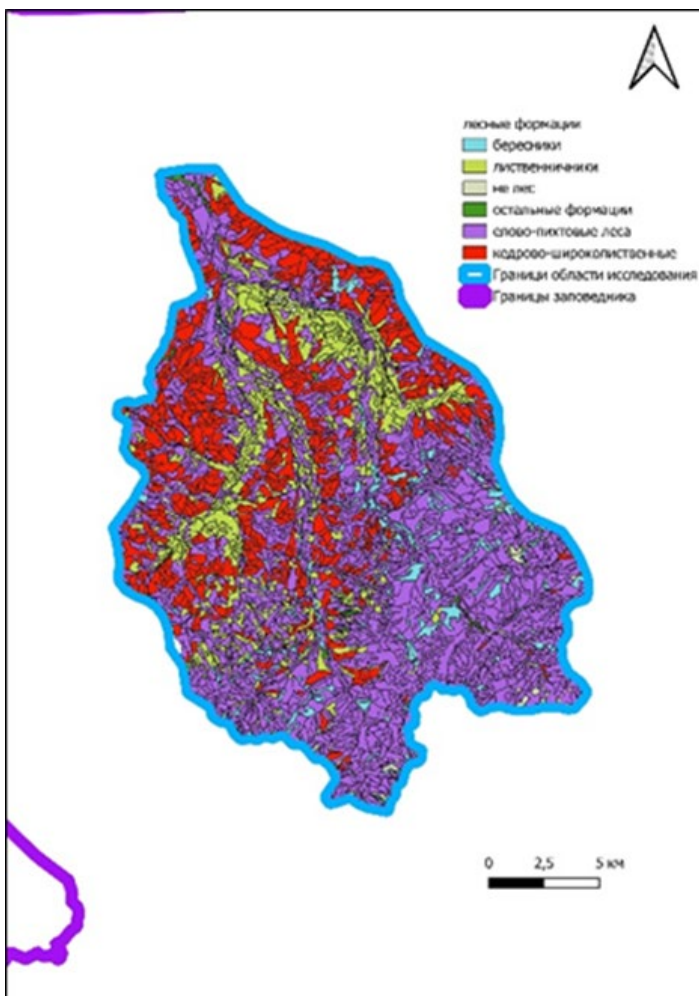


Рис. 10. Типы лесных формаций бассейна р. Полуденная

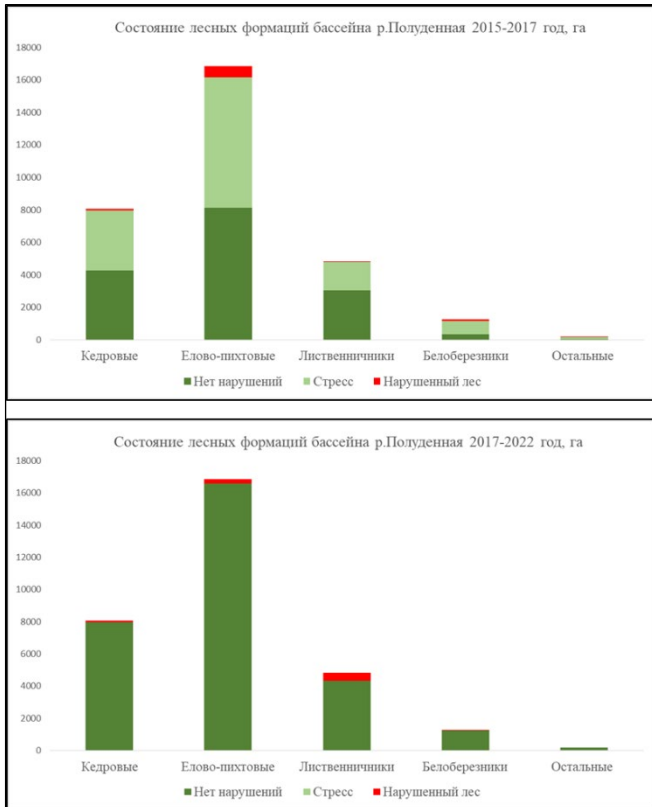


Рис. 11. Состояния лесных формаций бассейна р. Полуденная в период 2015-2017 и 2017-2022 гг

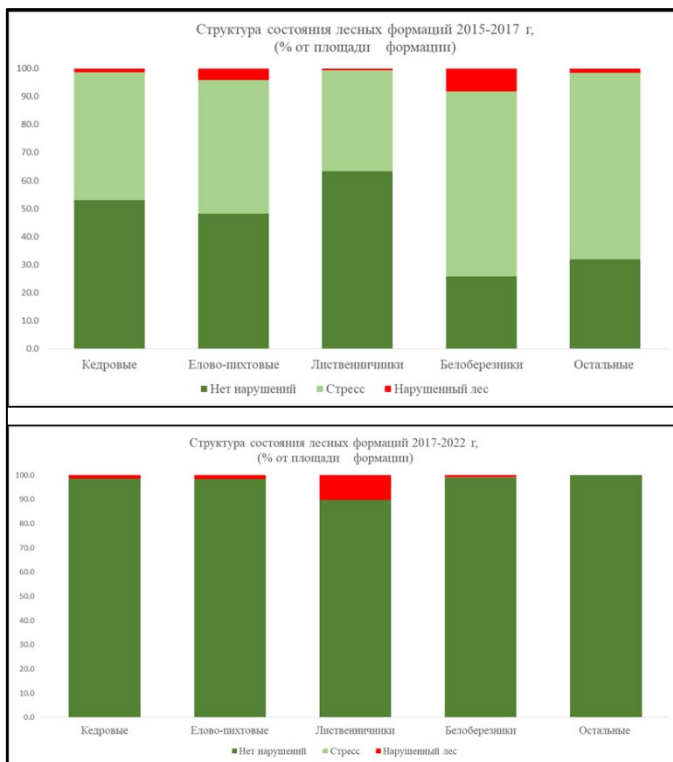


Рис. 12. Структура состояния лесных формаций 2015-2017 и 2017-2022 гг в процентном отношении.