

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Институт космических исследований РАН
ЦКП "ИКИ-Мониторинг"



УТВЕРЖДАЮ

Зам. директора ИКИ РАН

Лупян Е.А.

2016 г.

МЕТОДИКА

измерений площадей, пройденных лесными пожарами, на основе данных спутниковых систем наблюдения Земли формирования статистически о лесных пожарах и их последствиях

Барталев С.А.

ФИО

ПОДПИСЬ

Стыщенко Ф.В.

ФИО

ПОДПИСЬ

Москва 2016

Оглавление

Основные понятия и определения	3
Вводная часть	4
Методы измерения	4
Требования к показателям точности измерений	5
Требования к средствам измерений	6
Требования безопасности, охраны окружающей среды	6
Требования к квалификации операторов.....	6
Требования к условиям измерений	6
Подготовка к выполнению измерений.....	6
Порядок выполнения измерений площади пожара методом детектирования действующих очагов горения по температурным аномалиям	7
Порядок выполнения измерений площади пожара методом детектирования пройденной огнем территории по изменениям отражательных характеристик	8
Порядок выполнения измерений площади пожара методом автоматизированного картографирования пройденной огнем территории	9
Порядок выполнения интегральной оценки площади действующих пожаров и пройденной огнем территории	10
Обработка результатов измерений	12
Оформление результатов измерений	12
Приложение 1. Описание информационного продукта СИП-1У	13
Приложение 2. Описание информационного продукта СИП-2У	19
Приложение 3. Описание информационного продукта СИП-3У	25

Основные понятия и определения

Данные дистанционного зондирования Земли – данные о поверхности Земли и расположенных на ней объектах, полученные любыми неконтактными, т.е. дистанционными методами;

Температурная аномалия – участок земной поверхности с существенно превышающей окружающую его территорию по значению радиояркостной температуры;

Постоянные температурные аномалии – не вызванные природным пожаром температурные аномалии, характеризующиеся устойчивым проявлением в пространстве в течение времени, многократно превышающем максимально возможную длительность действия природного очага горения. Постоянные температурные аномалии обусловлены, как правило, промышленной деятельностью;

Пространственное разрешение – линейный размер участка земной поверхности, соответствующего пикселу изображения, полученного методами ДЗЗ;

Спектральный диапазон – диапазон длин электромагнитных волн, в котором прибор ДЗЗ проводит измерения энергетических характеристик излучения, отраженного земной поверхностью;

Пиксел – элемент, получаемый в результате разбиения (дискретизации) изображения на неделимые прямоугольные элементы, размеры которых в проекции на земную поверхность определяют его пространственное разрешение;

Географическая привязка – установление взаимно однозначного соответствия между заданными в своих системах координат идентичных точек земной поверхности и изображений, получаемых приборами ДЗЗ;

Коэффициент спектральной яркости – доля солнечной энергии, отраженная земной поверхностью в заданных спектральном диапазоне и направлении;

СИП-1У (спутниковый измеритель площади пожара 1-го уровня) – формируемый по данным ДЗЗ в близком к реальному времени режиме информационный продукт, содержащий границы и значение площади пожаров, полученные методом детектирования действующих очагов горения по температурным аномалиям;

СИП-2У (спутниковый измеритель площади пожара 2-го уровня) – формируемый по данным ДЗЗ информационный продукт, содержащий границы и значение площади пожаров, полученные методом детектирования пройденной огнем земной поверхности по изменениям отражательных характеристик;

СИП-3У (спутниковый измеритель площади пожара 3-го уровня) – формируемый по данным ДЗЗ информационный продукт, содержащий границы и значение площади пожаров, полученные методом их автоматизированного картографирования.

ГОПИИВ - Границы относительной погрешности измерений интегральной величины.

Вводная часть

1. Настоящий документ устанавливает методику измерения пройденной лесными пожарами площади (далее - методика), основанную на применении информационных продуктов, формируемых с использованием данных ДЗЗ в информационно системе Vega-Science (ЦКП "ИКИ-Мониторинг").

2. Диапазон измерений пройденной лесными пожарами площади начинается от 25 га. Верхний предел ограничен только общей площадью лесов.

3. Методика ориентирована на получение оценок площади пожаров на территории субъектов Российской Федерации или в целом на территории Российской Федерации для подготовки статистически о лесных пожарах и их последствиях.

4. Область использования методики – научные исследования, лесное хозяйство.

Методы измерения

5. Методика позволяет проводить измерения площади пожара с применением трех методов и формируемых с их использованием информационных продуктов, различающихся уровнями оперативности и точности (Приложения 1 - 3).

6. Измерение площади пожара, в зависимости от наличия необходимых данных ДЗЗ, может осуществляться тремя методами:

- а) методом детектирования действующих очагов горения по температурным аномалиям;
- б) методом детектирования пройденной огнем территории по изменениям отражательных характеристик;
- в) методом автоматизированного картографирования пройденной огнем территории.

7. Наиболее оперативное (близкое к режиму реального времени) измерение площади пожара позволяет получать информационный продукт СИП-1У (спутниковый измеритель площади пожара 1-го уровня), характеризуемый наименьшим уровнем точности.

Информационный продукт СИП-2У (спутниковый измеритель площади пожара 2-го уровня) занимает по обеспечиваемым им уровням точности и оперативности измерений площади пожаров промежуточное положение между информационными продуктами СИП-1У и СИП-3У. Информационный продукт СИП-3У (спутниковый измеритель площади пожара 3-го уровня) позволяет проводить измерение площади пожара с наивысшей точностью при наименьшем уровне оперативности.

8. В течение пожароопасного сезона методикой предусмотрено непрерывное обновление указанных в пункте 5 методики информационных продуктов по мере появления необходимых данных ДЗЗ, отвечающих условиям проведения измерений площади пожара.

9. Интегральная оценка площади действующих пожаров на территории субъектов Российской Федерации или Российской Федерации в целом осуществляется суммированием значений площади отдельных пожаров с использованием данных измерений, содержащихся в информационном продукте СИП-1У.

10. Интегральная оценка пройденной огнем площади на территории субъектов Российской Федерации или в целом Российской Федерации осуществляется суммированием значений площади отдельных пожаров, содержащихся в одном из информационных продуктов СИП-1У, СИП-2У или СИП-3У, путем выбора наиболее точного измерения из всех доступных на момент проведения оценки.

Требования к показателям точности измерений

11. Составляющие погрешности измерения площади пожаров могут носить как систематический, так и случайный характер.

12. Часть факторов, связанных с характеристиками съемочной аппаратуры, условиями и частотой наблюдений, а также геометрическими особенностями пожаров, приводят к появлению систематических погрешностей, которые могут быть статистически учтены. Оценка величины систематической погрешности измерений должна учитываться при определении площади пожара.

13. Учитывая невозможность учета всех факторов измерений конкретных пожаров, связанных с характеристиками съемочной аппаратуры, условиями и частотой наблюдений, а также геометрическими особенностями пожаров, соответствующая им составляющая погрешности рассматривается как случайная и учитывается в методике через показатели вероятности.

При определении площади отдельных пожаров и пройденной огнем площади на различных территориях должна оцениваться точность получаемых оценок с учетом границ неисключенной систематической составляющей погрешности и среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности в зависимости от используемых для оценки

информационных продуктов СИП-1У, СИП-2У и СИП-3У. Информация составляющих погрешностях приведена соответственно Приложениях 1, 2, 3.

Границы относительной погрешности измерений интегральной величины (ГОПИИВ) пройденной огнем площади в различных регионах, предназначенных для подготовки статистической отчетности о лесных пожарах и их последствиях, полученные в соответствии с п. 44 настоящей методики, составляют:

- для оценки интегральной площади лесных пожаров на территории РФ - $\pm 10\%$.
- для оценки интегральной площади лесных пожаров в регионе или на территории РФ - $\pm 20\%$.
- для оценки площади лесных пожаров в регионе или на территории РФ в защитных лесах - $\pm 20\%$.
- для оценки площади лесных пожаров в регионе или на территории РФ в эксплуатационных лесах - $\pm 25\%$.
- для оценки площади лесных пожаров в регионе или на территории РФ в резервных лесах - $\pm 30\%$.

Требования к средствам измерений

14. При выполнении измерений применяют ИС Vega-Science.

Требования безопасности, охраны окружающей среды

15. Особые требования безопасности и охраны окружающей среды при реализации Методики не применяются

Требования к квалификации операторов

16. К выполнению измерений и обработке результатов допускают лиц, прошедших обучение работы с ИС Vega-Science.

Требования к условиям измерений

17. Требования к условиям измерений зависят от выбранного метода измерений и указаны в разделах X, XI, XII.

Подготовка к выполнению измерений

18. Подготовка к выполнению измерений методом автоматизированного картографирования пройденной огнем территории заключается в подборе исходных данных, удовлетворяющим условия, указанным в разделе XII.

19. Подготовка к выполнению измерений другими методами, предусмотренными указанной Методикой – не требуется.

Порядок выполнения измерений площади пожара методом детектирования действующих очагов горения по температурным аномалиям

20. При выполнении измерений площади пожара методом детектирования действующих очагов горения по температурным аномалиям в автоматическом режиме выполняются следующие операции:

- а) формирование информационного продукта СИП-1У;
- б) формирование соответствующих отчетных и экранных форм.

21. Исходные данные для измерения площади пожара методом детектирования действующих очагов горения по температурным аномалиям содержатся в информационном продукте СИП-1У (Приложение 1).

22. Процедура измерения площади пожара проводится многократно в течение дня вслед за очередным обновлением информационного продукта СИП-1У и формируемых на его основе отчетных форм ИС Vega-Science.

23. По завершению суток по местному времени формируется значение пройденной огнем площади за сутки

24. Значения наиболее актуального измерения площади пожара и ее суточного прироста отображаются в отчетных формах ИС Vega-Science.

25. В качестве площади ликвидированного пожара принимается величина, характеризующая пройденную огнем территорию между моментом регистрации и временем последнего наблюдения очага горения.

26. Особенности метода:

- а) измерения площади пожаров проводятся на основе автоматической процедуры и исключают влияние субъективных факторов;
- б) измерения площади пожаров проводятся с высоким уровнем оперативности;
- в) измерения площади характеризуются высоким уровнем полноты, так как проводятся практически для каждого зарегистрированного пожара;
- г) измерения площади отдельных пожаров, характеризуются относительно невысокой точностью.

27. Содержащиеся в информационном продукте СИП-1У данные измерений площади пожаров рекомендуется использовать в следующих целях:

- а) оперативная оценка пройденной огнем площади;

- б) расчет необходимых для тушения пожара сил и средств, выбор тактических приемов тушения;
- в) принятие решений о перераспределении сил и средств, включая оценку необходимости привлечения резерва;
- г) прогноз распространения пожара;
- д) оценка и прогноз пожарной опасности в регионе;
- е) информирование общественности (включая предусмотренное законом информирование об опасных явлениях).

Порядок выполнения измерений площади пожара методом детектирования пройденной огнем территории по изменениям отражательных характеристик

28. При выполнении измерений площади пожара методом детектирования действующих очагов горения по температурным аномалиям в автоматическом режиме выполняются следующие операции:

- в) формирование информационного продукта СИП-2У;
- г) формирование соответствующих отчетных и экранных форм.

29. Исходные данные для измерения площади пожара методом детектирования пройденной огнем территории по изменениям ее отражательных характеристик содержатся в информационном продукте СИП-2У (Приложение 2).

30. Процедура измерения площади пожара проводится многократно в течение пожароопасного сезона вслед за очередным обновлением информационного продукта СИП-2У и формируемых на его основе отчетных форм ИС Вега-Science.

31. В течение пожароопасного сезона значение наиболее актуального измерения площади пожара (значение на момент формирования отчетной формы) отображается в отчетных формах ИС Вега-Science.

32. В качестве площади ликвидированного пожара принимается величина, характеризующая пройденную огнем территорию между моментом регистрации и временем последнего наблюдения очага горения.

33. Особенности метода:

- а) измерения площади пожаров проводятся на основе автоматической процедуры и исключают влияние субъективных факторов;
- б) измерения площади пожаров проводятся регулярно с заданной периодичностью;
- в) измерения площади характеризуются высоким уровнем полноты, так как проводятся практически в отношении каждого пожара, сопровождающегося изменением отражательных характеристик земной поверхности;

- г) измерения площади пожаров, характеризуются относительно высокой пространственной детальностью формируемых контуров пройденных огнем территорий;
- д) получение достоверного измерения площади пожара может сопровождаться значительной задержкой, зависящей от наличия удовлетворяющих требуемым условиям данных ДЗЗ.

34. Содержащиеся в информационном продукте СИП-2У данные измерений площади пожаров рекомендуется использовать в следующих целях:

- а) уточненная оценка пройденной огнем площади;
- б) оценка ущерба от лесного пожара;
- в) оценка технологической целесообразности принятия тактических решений при тушении пожара;
- г) оценка эффективности переданных субъектам Российской Федерации полномочий в части охраны лесов от пожаров;
- д) проведение аналитических и научно-исследовательских работ.

Порядок выполнения измерений площади пожара методом автоматизированного картографирования пройденной огнем территории

35. При выполнении измерений площади пожара методом детектирования действующих очагов горения по температурным аномалиям выполняются операции, указанные в приложении 3.

36. Исходные данные для измерения площади пожара методом автоматизированного картографирования пройденной огнем территории содержатся в информационном продукте СИП-3У (Приложение 3).

37. Процедура измерения площади пожара выполняется оператором по мере необходимости вслед за поступлением в ИС Vega-Science удовлетворяющих требуемым условиям данных ДЗЗ.

38. В течение пожароопасного сезона значение наиболее актуального измерения площади пожара (значение на момент формирования отчетной формы) отображается в отчетных формах ИС Vega-Science.

39. Особенности метода:

- а) измерения площади пожаров, характеризуются высокой точностью и пространственной детальностью формируемых контуров пройденных огнем территорий;
- б) измерения площади пожаров проводятся оператором на основе интерактивной процедуры и могут находиться под влиянием субъективных факторов;

- в) измерения площади пожаров проводятся не регулярно и, как правило, сопровождаются значительной задержкой, зависящей от наличия удовлетворяющих требуемым условиям данных ДЗЗ;
- г) могут быть проведены измерения площади пожаров, которые не были обнаружены с помощью спутниковых наблюдений на стадии активного горения (продукт СИП-У1), но были зарегистрированы наземными или авиационными средствами наблюдений;
- д) уровень полноты измерений площади пожаров может значительно варьировать в зависимости от ресурсов, выделенных на проведение работ оператором ИС Vega-Science.

40. Содержащиеся в информационном продукте СИП-3У данные измерений площади пожаров рекомендуется использовать в следующих целях:

- а) точная оценка пройденной огнем площади, в том числе, для решения лесоучетных задач;
- б) оценка ущерба от лесного пожара;
- в) оценка технологической целесообразности принятия тактических решений при тушении пожара;
- г) оценка эффективности переданных субъектам Российской Федерации полномочий в части охраны лесов от пожаров;
- д) проведение аналитических и научно-исследовательских работ.

Порядок выполнения интегральной оценки площади действующих пожаров и пройденной огнем территории

41. Оперативная интегральная оценка площади действующих пожаров на территории субъектов Российской Федерации или в целом Российской Федерации осуществляется путем суммирования значений площади отдельных пожаров по данным измерений, содержащихся в информационном продукте СИП-1У.

42. Систематическая погрешность и среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности интегральной оценки пройденной огнем площади по субъектам Российской Федерации и в целом по Российской Федерации вычисляются на основе систематической погрешности (далее СО) и средрекватрического отклонения случайной составляющей погрешности измерения (далее СКО) площади отдельных пожаров следующим образом:

$$CO_{\text{ПОП}} = \sum CO_{ij}$$

$$CKO_{\text{ПОП}} = \sqrt{\sum (CKO_{ij})^2}$$

где

$CO_{\text{ПОП}}$ и $CKO_{\text{ПОП}}$ – абсолютная систематическая погрешность и среднее квадратическое отклонение абсолютной случайной составляющей погрешности интегральной оценки пройденной площади по субъектам Российской Федерации и в целом по Российской Федерации, CO_{ij} и CKO_{ij} – абсолютная систематическая погрешность и среднее квадратическое отклонение абсолютной случайной составляющей погрешности измерений площади i -го пожара, измеренного на основе j -го метода, выбранного в качестве оценки площади пожара в соответствии с п.42 настоящей методики.

Погрешности измерения площадей отдельных пожаров, выраженные в абсолютной систематической погрешности и среднем квадратическом отклонении абсолютной случайной составляющей погрешности измерений CO_{ij} и CKO_{ij} , вычисляются в соответствии с приложениями 1,2,3.

43. Проводимая в учетных целях интегральная оценка пройденной огнем площади на территории субъектов Российской Федерации или в целом Российской Федерации осуществляется суммированием значений площади отдельных пожаров, содержащихся в одном из информационных продуктов СИП-1У, СИП-2У или СИП-3У, путем выбора наиболее точного измерения из всех доступных на момент проведения оценки. Предварительно проводится процедура установления взаимно однозначного соответствия описывающих контуры пожары полигонов, содержащихся в различных информационных продуктах.

44. После проведения интегральной оценки пройденной огнем площади на территории субъектов Российской Федерации или в целом Российской Федерации осуществляется оценка $CKO_{\text{ПОП}}$ (см. п. 42). В случае если $CKO_{\text{ПОП}} < \text{ГОПНИВ}$ установленной в п. 13, измерение считается состоявшимся, в противном случае производится оценка площади пожаров с использованием продукта СИП-3У для тех пожаров, для которых данная процедура не была проведена. После этого проводится повторное измерение. В случае если проведение такой оценки невозможно, измерение считается не состоявшимся и не должно использоваться при подготовки статистической отчетности о лесных пожарах и их последствиях.

45. Особенности интегральной оценки площади действующих пожаров и пройденной огнем территории:

- а) интегральная оценка проводится автоматически на момент формирования запроса к ИС Вега-Science;
- б) точность интегральной оценки на заданной территории повышается с ростом суммарной площади действующих пожаров или пройденных огнем участков земной поверхности.
- в) точность интегральной оценки на заданной территории повышается с ростом числа пожаров, для которых производится оценка на основе продукта СИП-3У

Обработка результатов измерений

46. Обработка результатов измерений производится средствами ИС Вега-Science.

Оформление результатов измерений

47. Результаты измерений автоматически заполняются в соответствующих формах ИС Вега-Science.

Приложение 1. Описание информационного продукта СИП-1У

1. СИП-1У (спутниковый измеритель площади пожара 1-го уровня) – формируемый по данным ДЗЗ в близком к реальному времени режиме информационный продукт, содержащий границы и значение площади пожаров, полученные методом детектирования действующих очагов горения по температурным аномалиям.

2. Исходными данными для формирования продукта СИП-1У являются данные ДЗЗ, имеющие следующие характеристики:

- а) значение основных показателей данных должны соответствовать указанным в таблице 1.1 характеристикам:

Таблица 1.1 - Характеристика данных ДЗЗ для формирования информационного продукта СИП-1У

Номер спектрального диапазона	Границы спектрального диапазона (мкм)	Предел измерений (Вт/м ² мкм ср)	Шумовой эквивалент разности температур (К)	Пространственное разрешение в надире (км)
1	3.929 – 3.989	0.67	0.07	1,1
2	10.780 – 11.280	9.55	0.05	1,1
3	11.770 – 12.27	8.94	0.05	1,1

б) географическая привязка данных должна быть выполнена с точностью (СКО определения координат), не превышающей 1,1 км;

в) пиксели с наличием сбоев, искажений или высоким уровнем шума, должны сопровождаться информацией, позволяющей их идентифицировать.

3. Алгоритм формирования СИП-1У включает в себя следующие этапы:

- а) организация получения данных в соответствии с требованиями пунктом 2 Приложения 1;

- б) формирование информационного продукта MOD02¹;
- в) формирование информационного продукта MOD14²;
- г) фильтрация ошибок детектирования на основе списка координат «постоянных температурных аномалий», определяемых в ИС Vega-Science по данным многолетних спутниковых наблюдений;
- д) формирование списка координат температурных аномалий (далее - ТА), содержащего следующую информацию:
 - координаты ТА;
 - размер пиксела вдоль и поперек направления скана;
- е) формирование координат контура пожара;

Для каждой ТА формируется векторный файл координат границ пикселя (далее – контур отдельного пожара). Для этого, на основе полученных с начала пожароопасного сезона набора данных ТА на каждые сутки формируются границы зоны горения. В зону горения объединяются полученные за сутки ТА, если минимальное расстояние между их границами не превышает 0,5 км.

Для каждой зоны горения формируется векторный файл ее границ, проведенных по внешним границам включенных в нее ТА.

На основе последовательного анализа зон горения на каждые сутки в течение пожароопасного сезона формируются отдельные пожары. Для получения однородной информации по всей территории РФ используется 2-ой часовой пояс (московское время). В один пожар объединяются зоны горения, минимальное расстояние между границами которых меньше 0,5 км, а разница дат не превышает 10 суток.

Для каждого отдельного пожара формируется векторный файл его границ, проведенных по внешним границам включенных в него зон горения.

- ж) расчет площади пожара;

Расчет площади отдельного пожара проводится на основе формируемых ежесуточно его границ методами аналитической геометрии с точностью, соответствующей точности измерения площадей по картам масштаба 1:200 000 в проекции Альберса³.

¹ информационный продукт, полученный на основе информации спутникового прибора MODIS путем обработки уровня Level 1B в соответствии с (http://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/pdf/MOD_02.pdf)

² информационный продукт, полученный на основе информации спутникового прибора MODIS путем детектирования температурных аномалий в соответствии с (http://modis.gsfc.nasa.gov/data/dataproduct/pdf/MOD_14_40.pdf)

³ Проекция Альберса (равновеликая коническая проекция Альберса) — картографическая проекция, разработанная в 1805 году немецким картографом Хейнрихом Альберсом (1773—1833). Проекция коническая, сохраняющая площадь объектов, но искажающая углы и форму контуров.

з) расчет покрытой лесом площади в границах пожара;

Расчет покрытой лесом площади в границах пожара производится с использованием карты лесов, построенной на основе спутниковых данных с пространственным разрешением не менее 250 метров.

Покрытой лесом площадью в границах пожара считается площадь пересечения границы отдельного пожара и границ покрытых лесом земель, вычисляемая методами аналитической геометрии с точностью, соответствующей точности измерения площадей по картам масштаба 1:200 000 в проекции Альберса.

Расчет площади пожара и покрытой лесом площади в его границах, выходящих за пределы территории одного субъекта Российской Федерации (далее - пограничных пожаров) проводится следующим образом:

- вычисляется площадь пожара в границах субъекта Российской Федерации;
- вычисляется коэффициент коррекции площади пожара, равный отношению его площади в границах субъекта Российской Федерации к общей его площади;
- вычисляется покрытая лесом площадь в границах пожара на территории субъекта Российской Федерации умножением данной величины, определенной для пожара в целом, на коэффициент коррекции.

и) коррекция значения площади пожара;

Для частичной компенсации ошибок измерений, вызванных ограниченным пространственным разрешением используемых данных ДЗЗ, геометрические значения площади пожаров корректируются на основе следующей формулы:

$$S_C = \begin{cases} \left(1 - \frac{k \times \Delta \times (1 - \sigma)}{\sqrt{S_G}}\right) \times S_G \quad \forall S_G > (k \times \Delta)^2 \\ \sigma \times S_G \quad \forall S_G \leq (k \times \Delta)^2 \end{cases} \quad (1)$$

где

S_G - геометрически измеренная площадь пожара, км²;

S_C - скорректированная площадь пожара, км²;

$\Delta = 1.1$ - номинальный размер пиксела, км;

$\sigma = 0.2$ - корректирующий коэффициент;

$k = 2$ - константа.

При использовании данной коррекции ПП и ПЛП получаются с использованием следующих формул:

$$\text{ПП} = S_c * \text{ПКП} / S_G;$$

$$\text{ПЛП} = S_c * \text{ПЛКП} / S_G.$$

где

ПП – площадь пожара, км²;

ПКП – площадь контура пожара, км²;

ПЛП – покрытая лесом площадь пожара, км²;

ПЛКП – покрытая лесом площадь контура пожара, км².

к) оценка погрешности измерения площади пожара;

Для определения характеристик погрешности измерений площади пожаров проводятся выборочные измерения по данным ДЗЗ с не менее чем пятикратным превышением информационного продукта СИП-1У по величине пространственного разрешения, результаты которых именуется далее эталонными значениями. По результатам измерений площади пожаров, полученным на основе СИП-1У ($S_{i\text{ИЗМ}}$), и эталонным измерениям ($S_{i\text{ЭТ}}$), строятся зависимости систематической погрешности (далее СО) и среднеквадратического отклонения случайной составляющей погрешности (далее - СКО) от площади пожара.

Для получения указанных зависимостей, пожары группируются согласно интервалам их площадей, для каждого из которых вычисляется относительные СО и СКО:

$$CO_{\text{ИНТ}} = \frac{\sum_1^n (S_{i\text{ИЗМ}} - S_{i\text{ЭТ}}) / S_{i\text{ИЗМ}}}{n} \quad (2)$$

$$СКО_{\text{ИНТ}} = \sqrt{\frac{\sum_1^n ((S_{i\text{ИЗМ}} - S_{i\text{ЭТ}} - CO_{\text{ИНТ}} \times S_{i\text{ИЗМ}}) / (S_{i\text{ИЗМ}} - CO_{\text{ИНТ}} \times S_{i\text{ИЗМ}}))^2}{n}} \quad (3)$$

где

$CO_{\text{ИНТ}}$ и $CKO_{\text{ИНТ}}$ – CO и CKO для интервала площадей пожаров;

$S_{i\text{ИЗМ}}$ и $S_{i\text{ЭТ}}$ – измеренное значение площади пожаров, полученным на основе СИП-1У и эталонное значение площади i -го пожара в интервале;

n – количество пожаров в интервале.

На основе полученных относительных значений составляющих погрешностей для интервалов строятся их зависимости от площади пожара путем аппроксимации дискретных значений непрерывными функциями $CO(S)$ и $CKO(S)$.

Абсолютная систематическая погрешность и среднее квадратическое отклонение абсолютной случайной составляющей погрешности измерений вычисляются следующим образом:

$$CO_i = CO(S_i) \times S_i \quad (4)$$

$$CKO_i = CKO(S_i) \times S_i \quad (5)$$

где

CO_i и CKO_i – абсолютная систематическая погрешность и среднее квадратическое отклонение абсолютной случайной составляющей погрешности измерений площади пожара;

S_i – измеренная площадь пожара;

$CO(S_i)$ и $CKO(S_i)$ – значения функций относительной систематической погрешности и среднее квадратическое отклонение относительной случайной составляющей погрешности измерений площади пожара от значения площади пожара S_i .

4. Полученный в результате выполнения указанных в пункте 3 Приложения 1 процедур информационный продукт СИП-1У содержит следующую информацию о пожарах:

- номер пожара;
- контур пожара;
- площадь пожара;

- границы доверительного интервала площади пожара;
- дата регистрации пожара;
- дата заключительного наблюдения пожара.

5. Распределение относительного СО и СКО измерения площади пожара продуктом СИП-1У в зависимости от размера пожара

Таблица 1.2 - Распределение относительного СО и СКО измерения площади пожара продуктом СИП-1У в зависимости от размера пожара

№	Интервал площадей, га		СО	СКО
	Минимум	Максимум		
1.	0	600	0,56	0,89
2.	600	800	0,56	0,84
3.	800	1 000	0,55	0,78
4.	1 000	1 500	0,53	0,73
5.	1 500	2 000	0,50	0,66
6.	2 000	3 000	0,47	0,59
7.	3 000	5 000	0,42	0,52
8.	5 000	10 000	0,38	0,45
9.	10 000	15 000	0,32	0,37
10.	15 000	20 000	0,26	0,28
11.	20 000	50 000	0,19	0,19
12.	50 000	Более	0,11	0,10

Приложение 2. Описание информационного продукта СИП-2У

1. СИП-2У (спутниковый измеритель площади пожара 2-го уровня) – формируемый по данным ДЗЗ информационный продукт, содержащий границы и значение площади пожаров, полученные методом детектирования пройденной огнем территории по изменениям отражательных характеристик.

2. Исходными данными для формирования продукта СИП-2У являются данные ДЗЗ, имеющие следующие характеристики:

- а) значение основных показателей данных должны соответствовать указанным в таблице 2.1 характеристикам:

Таблица 2.1 - Характеристика данных ДЗЗ для формирования информационного продукта СИП-2У

Номер спектрального диапазона	Границы спектрального диапазона (мкм)	Отношение сигнал/шум	Пространственное разрешение в надире (м)
1	0.4 – 0.5	200	200-600
2	0.6 – 0.7	100	100-350
3	0.8 – 0.9	200	100-350
4	1.5 – 1.7	300	200-600

- б) среднеквадратическая ошибка географической привязки исходных данных не должна превышать величины +/- 0.5 линейного размера пиксела изображения;

- в) периодичность поступления исходных данных должна быть от одного раза в сутки до трех раз в сутки.

3. Кроме указанных в пункте 2 данных ДЗЗ для получения информационного продукта СИП-2У также используются данные о координатах и времени действия пожаров, полученные на основе информационного продукта СИП-1У.

4. Алгоритм формирования СИП-2У включает в себя следующие этапы:

а) Организация получения данных в соответствии с требованиями, указанными в пункте 2 настоящего Приложения;

б) Формирование информационного продукта СИП-1У.

в) Проведение предварительной обработки данных ДЗЗ, включающей процедуры фильтрации пикселей с высоким уровнем случайного шума, а также соответствующих съемке при критических значениях углов визирования и высоты Солнца, облаков и их теней, покрытой снегом земной поверхности.

г) Вычисление значений вегетационного индекса пожаров и формирование многолетних временных рядов его ежедневных значений с использованием очищенных от влияния шумов данных ДЗЗ.

Значения вегетационного индекса пожаров (далее – ВИП) рассчитываются для каждого пикселя по формуле:

$$ВИП = \frac{R_{БИК} - R_{СИК}}{R_{БИК} + R_{СИК}}, \quad (1)$$

где $R_{БИК}$ и $R_{СИК}$ - значения КСЯ, измеренные в ближнем (0.8 – 0.9 мкм) и среднем ИК (1.5 – 1.7 мкм) диапазонах длин волн.

В отношении полученных временных рядов значений индекса ВИП выполняются процедуры сглаживания и восстановления измерений, отфильтрованных на этапе предварительной обработки данных ДЗЗ.

Общая продолжительность временных рядов значений индекса ВИП должна составлять не менее шести лет, включая пять лет, непосредственно предшествующих году пожаров, в отношении которых проводятся измерения площади.

д) Построение на основе многолетних (не менее пяти лет) временных рядов исторических спутниковых данных статистической нормы сезонной динамики ВИП, включая оценку среднемноголетнего значения $M_{ВИП}$ и стандартного отклонения $\sigma_{ВИП}$ для каждого пикселя в день года t .

е) Детектирование, предположительно вызванных пожарами, изменений на основе сравнения значений ВИП в текущем году со статистической нормой. Сравнение текущих значений индекса ВИП со значениями его статистической нормы проводится в совпадающие календарные дни года. Пиксел относится к участку изменений, если отклонение значения ВИП в текущем году $ВИП^T$ от среднемноголетнего его значения превышает величину утроенного стандартного отклонения, т.е.:

$$ВИП^T > M_{ВИП} - 3\sigma_{ВИП}, \quad (2)$$

Приведенное выше соотношение применяется для каждого пиксела в каждый момент времени спутниковых наблюдений.

ж) Идентификация вызванных пожарами повреждений на основе сопоставления выявленных участков изменений отражательных характеристик с данными о координатах и времени действия пожаров на основе информационного продукта СИП-1У. Предварительно выявленные пиксела участков изменений отражательных характеристик объединяются в пространственно-связные области. Связная область считается пожаром, если более 1% ее площади пространственно совпадает с очагами горения во временном окне длиной в двадцать дней.

з) Для каждого отдельного пожара формируется векторный файл его границ с присвоением ему идентификатора пожара согласно СИП-1У.

и) Рассчитывается площадь пожара на основе площади полученного полигона, а также покрытая лесом площадь в границах пожара путем пересечения его контура и контурами покрытых лесом земель, аналогично пункту 3 Приложения 1.

к) Оценка погрешности измерения площади пожара.

Для определения характеристик погрешности измерений площади пожаров проводятся выборочные измерения по данным ДЗЗ с не менее чем пятикратным превышением информационного продукта СИП-2У по величине пространственного разрешения, результаты которых именуется далее эталонными значениями. По результатам измерений площади пожаров, полученным на основе СИП-1У ($S_{iИЗМ}$), и эталонным измерениям ($S_{iЭТ}$), строятся зависимости систематической погрешности (далее СО) и среднеквадратического отклонения случайной составляющей погрешности (далее - СКО) от площади пожара.

Для получения указанных зависимостей, пожары группируются согласно интервалам их площадей, для каждого из которых вычисляется относительные СО и СКО:

$$CO_{ИИТ} = \frac{\sum_{i=1}^n (S_{iИЗМ} - S_{iЭТ}) / S_{iИЗМ}}{n} \quad (3)$$

$$СКО_{ИИТ} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((S_{iИЗМ} - S_{iЭТ} - CO_{ИИТ} \times S_{iИЗМ}) / (S_{iИЗМ} - CO_{ИИТ} \times S_{iИЗМ}))^2}{n}} \quad (4)$$

где

$CO_{\text{ИНТ}}$ и $CKO_{\text{ИНТ}}$ – CO и CKO для интервала площадей пожаров;

$Si_{\text{ИЗМ}}$ и $Si_{\text{ЭТ}}$ – измеренное значение площади пожаров, полученным на основе СИП-1У и эталонное значение площади i -го пожара в интервале;

n – количество пожаров в интервале.

На основе полученных относительных значений составляющих погрешностей для интервалов строятся их зависимости от площади пожара путем аппроксимации дискретных значений непрерывными функциями $CO(S)$ и $CKO(S)$.

Абсолютная систематическая погрешность и среднее квадратическое отклонение абсолютной случайной составляющей погрешности измерений вычисляются следующим образом:

$$CO_i = CO(S_i) \times S_i \quad (4)$$

$$CKO_i = CKO(S_i) \times S_i \quad (5)$$

где

CO_i и CKO_i – абсолютная систематическая погрешность и среднее квадратическое отклонение абсолютной случайной составляющей погрешности измерений площади пожара;

Si – измеренная площадь пожара;

$CO(S_i)$ и $CKO(S_i)$ – значения функций относительной систематической погрешности и среднее квадратическое отклонение относительной случайной составляющей погрешности измерений площади пожара от значения площади пожара Si .

5. Полученный в результате выполнения процедур, указанных в пункте 4 Приложения 1, информационный продукт СИП-2У содержит следующую информацию о пожаре:

- номер пожара;
- границы пожара;
- площадь пожара;
- границы доверительного интервала площади пожара;
- дата, на которую проводились измерения площади пожара.

6. Распределение относительного СО и СКО измерения площади пожара продуктом СИП-2У в зависимости от размера пожара

Таблица 2.2 - Распределение относительного СО и СКО измерения площади пожара продуктом СИП-2У в зависимости от размера пожара

№	Интервал площадей, га		СО	СКО
	Минимум	Максимум		
1.	0	25	-1,46	0,81
2.	25	50	-0,90	0,78
3.	50	75	-0,65	0,75
4.	75	100	-0,50	0,72
5.	100	150	-0,39	0,69
6.	150	200	-0,32	0,66
7.	200	250	-0,26	0,63
8.	250	300	-0,21	0,60
9.	300	400	-0,17	0,57
10.	400	500	-0,14	0,54
11.	500	600	-0,11	0,51
12.	600	800	-0,08	0,48
13.	800	1 000	-0,06	0,45

14.	1 000	1 500	-0,04	0,42
15.	1 500	2 000	-0,02	0,39
16.	2 000	3 000	0,00	0,36
17.	3 000	5 000	0,01	0,33
18.	5 000	10 000	0,02	0,30
19.	10 000	15 000	0,04	0,27
20.	15 000	20 000	0,05	0,23
21.	20 000	50 000	0,06	0,20
	50 000	более	0,06	0,17

Приложение 3. Описание информационного продукта СИП-3У

1. СИП-3У (спутниковый измеритель площади пожара 3-го уровня) – формируемый по данным ДЗЗ информационный продукт, содержащий границы и значение площади пожаров, полученные методом их автоматизированного картографирования.

2. Информационный продукт СИП-3У формируется оператором (далее – оператор) в одном из двух режимов:

- интерактивное оконтуривание поврежденного пожаром участка оператором (далее – автоматизированный режим);
- автоматическое оконтуривание поврежденного пожаром участка с предварительным указанием оператором области поиска (далее – автоматический режим).

3. Исходными для формирования СИП-3У являются данные ДЗЗ, имеющие следующие характеристики

- а) пространственное разрешение не хуже 50 м;
- б) среднеквадратичная ошибка географической привязки не выше +/- 0.5 линейного размера пиксела изображения;
- в) Для реализации автоматического режима оконтуривания пожаров данные ДЗЗ должны включать изображения, полученные в ближнем (0.8 – 0.9 мкм) и среднем ИК (1.5 – 1.7 мкм) спектральных диапазонах. При интерактивном оконтуривании пожаров могут использоваться любые многоспектральные или панхроматические спутниковые изображения, полученные в видимой (0.5 – 0.7 мкм), ближней и средней ИК области спектра.

4. Формирование информационного продукта СИП-3У включает в себя следующие этапы:

- а) Организация получения, соответствующих требованиям пункта 2 Приложения 3, данных ДЗЗ с обеспечением доступа к ним оператора посредством картографического интерфейса ИС Вега-Science;
- б) Поиск оператором пожаров, включенных в информационный продукт СИП-1У и требующих картографирования участков повреждений;
- в) Поиск оператором следующего за датой окончания пожара и ближайшего к ней по времени (но не позднее 3 месяцев) съемки безоблачного спутникового изображения с отчетливым проявлением границ поврежденного пожаром участка;

г) Оконтуривание поврежденного пожаром участка с использованием инструментов картографического интерфейса ИС Вега-Science в автоматизированном режиме, либо использование автоматического режима.

5. В случае использования режима автоматического оконтуривания поврежденного пожаром участка соответствующая процедура включает следующие основные шаги обработки спутникового изображения:

а) разделение изображения на однородные участки (сегментация) спутникового изображения в заданной оператором области поиска;

б) удаление из рассмотрения (маскирование на изображении) водных объектов;

в) выделение сегментов со средней яркостью ниже заданного порога, устанавливаемого, на основе анализа яркостей сегментов вошедших в область поиска пожара;

г) объединение выделенных сегментов и формирование контура пожара;

д) После проведения автоматического оконтуривания оператором производится визуальный контроль качества полученного результата. В случае отклонения оператором результатов автоматического оконтуривания поврежденного пожаром участка используется процедура оконтуривания в интерактивном режиме.

6. Оценка погрешности измерения площади пожара.

Для определения характеристик погрешности измерений площади пожаров проводятся выборочные измерения по данным ДЗЗ с не менее чем пятикратным превышением информационного продукта СИП-1У по величине пространственного разрешения, результаты которых именуется далее эталонными значениями. По результатам измерений площади пожаров, полученным на основе СИП-1У ($Si_{ИЗМ}$), и эталонным измерениям ($Si_{ЭТ}$), строятся зависимости систематической погрешности (далее СО) и среднеквадратического отклонения случайной составляющей погрешности (далее - СКО) от площади пожара.

Для получения указанных зависимостей, пожары группируются согласно интервалам их площадей, для каждого из которых вычисляется относительные СО и СКО:

$$CO_{ИИТ} = \frac{\sum_{i=1}^n (Si_{ИЗМ} - Si_{ЭТ}) / Si_{ИЗМ}}{n} \quad (3)$$

$$CKO_{\text{инт}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n ((S_{i\text{изм}} - S_{i\text{эт}} - CO_{\text{инт}} \times S_{i\text{изм}}) / (S_{i\text{изм}} - CO_{\text{инт}} \times S_{i\text{изм}}))^2}{n}} \quad (4)$$

где

$CO_{\text{инт}}$ и $CKO_{\text{инт}}$ – CO и CKO для интервала площадей пожаров;

$S_{i\text{изм}}$ и $S_{i\text{эт}}$ – измеренное значение площади пожаров, полученным на основе СИП-1У и эталонное значение площади i -го пожара в интервале;

n – количество пожаров в интервале.

На основе полученных относительных значений составляющих погрешностей для интервалов строятся их зависимости от площади пожара путем аппроксимации дискретных значений непрерывными функциями $CO(S)$ и $CKO(S)$.

Абсолютная систематическая погрешность и среднее квадратическое отклонение абсолютной случайной составляющей погрешности измерений вычисляются следующим образом:

$$CO_i = CO(S_i) \times S_i \quad (4)$$

$$CKO_i = CKO(S_i) \times S_i \quad (5)$$

где

CO_i и CKO_i – абсолютная систематическая погрешность и среднее квадратическое отклонение абсолютной случайной составляющей погрешности измерений площади пожара;

S_i – измеренная площадь пожара;

$CO(S_i)$ и $CKO(S_i)$ – значения функций относительной систематической погрешности и среднее квадратическое отклонение относительной случайной составляющей погрешности измерений площади пожара от значения площади пожара S_i .

7. Полученный в результате выполнения процедур, указанных в пункте 4 или 5 Приложения 3, информационный продукт СИП-3У содержит следующую информацию:

- номер пожара;
- контур пожара;
- площадь пожара;
- границы доверительного интервала площади пожара;
- дата получения данных ДЗЗ, использованных для измерения площади пожара.

8. Распределение относительного СО и СКО измерения площади пожара продуктом СИП-3У в зависимости от размера пожара

Таблица 3.1 - Распределение относительного СО и СКО измерения площади пожара продуктом СИП-3У в зависимости от размера пожара

№	Интервал площадей, га		СО	СКО
	Минимум	Максимум		
1.	0	0,25	50,63	0,42
2.	0,25	0,5	36,51	0,29
3.	0,5	1	26,33	0,20
4.	1	5	18,98	0,14
5.	5	100	13,69	0,10
6.	100	250	9,87	0,07
7.	250	500	7,12	0,05

8.	500	1000	5,13	0,03
9.	1000	2000	3,70	0,02
10.	2000	более	2,67	0,02