

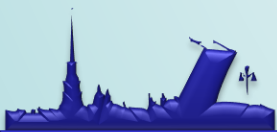


# «Использование геоинформационной системы для прогноза лавинной опасности методами дистанционного зондирования Земли»

Авторы: Королёва О.А. (докладчик), Подчасский А.С., кгн Козлова Н.А., кгн Канарский И.Д.

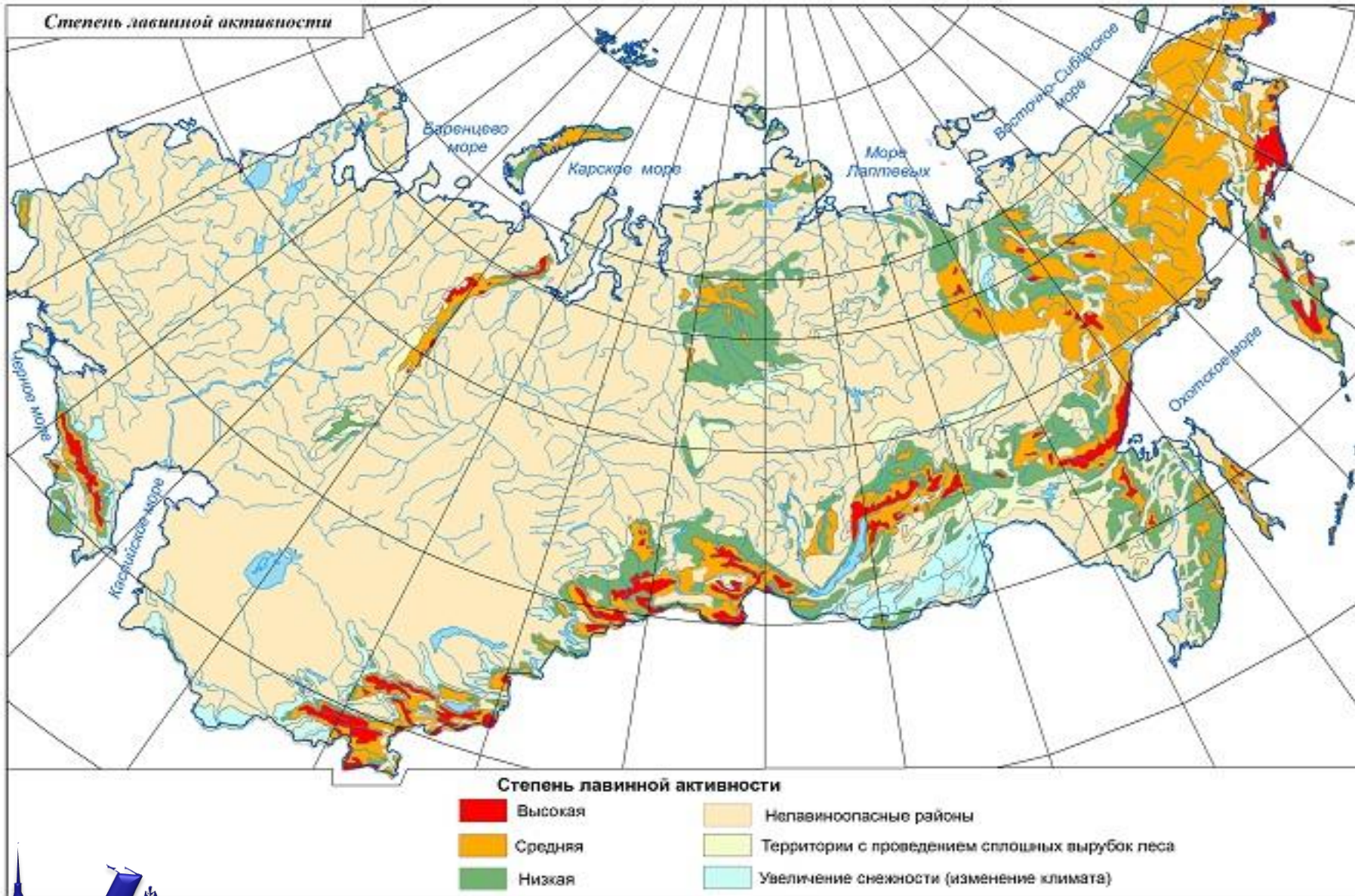
Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского

14-16 ноября 2022 г.





# Карта лавинной активности на территории России

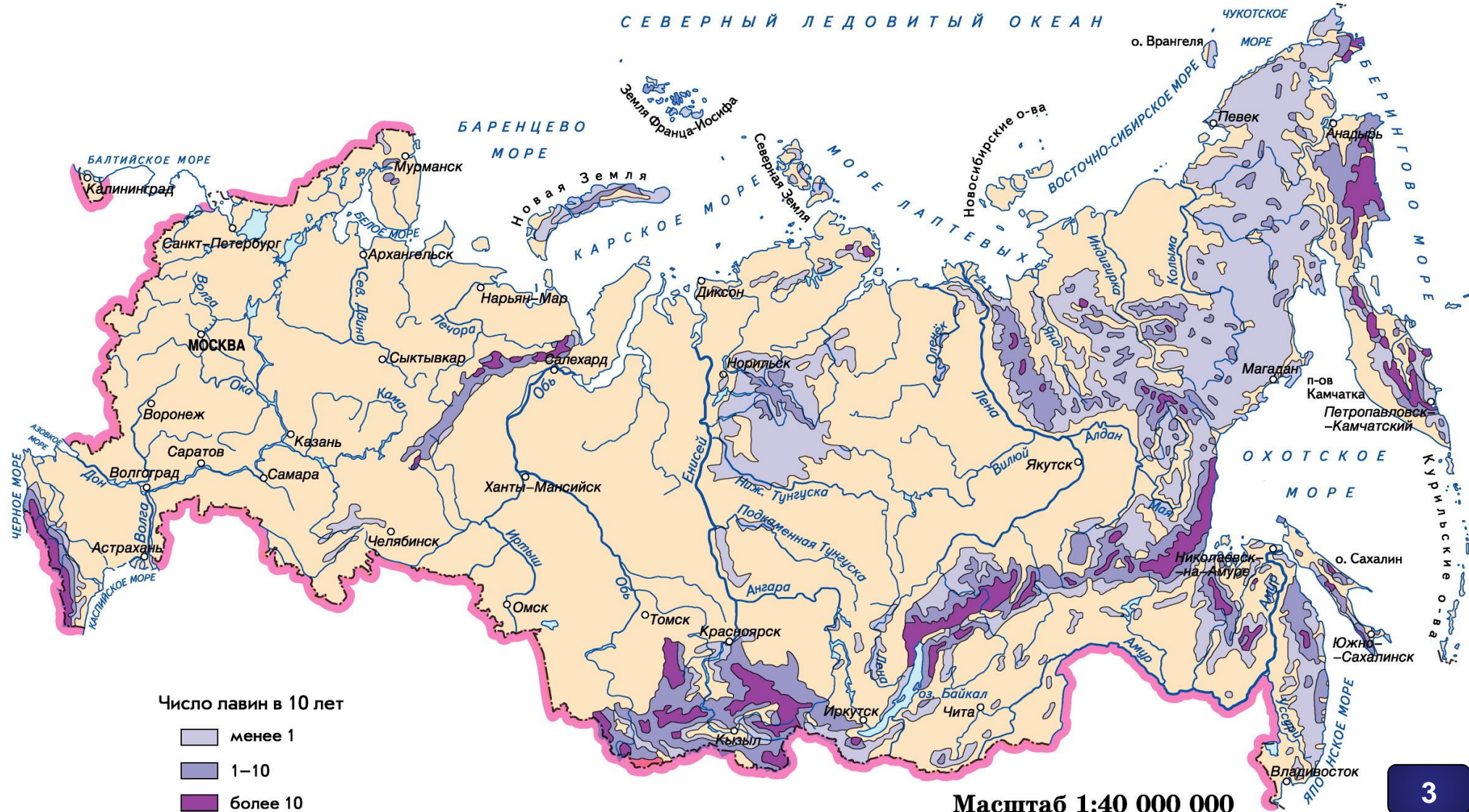




# Карта повторяемости лавин на территории Российской Федерации в течении 10 лет



## ПОВТОРЯЕМОСТЬ ЛАВИН





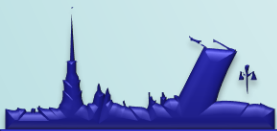
# Характеристики присущие снежным лавинам полигенетического класса

Генетический тип лавин	Характер движения лавины	Максимальный объем лавины, тыс. м <sup>3</sup>	Максимальная дальность выброса, м/с	Максимальная скорость лавины, м/с	Процессы, определяющие генезис лавин
Генетический класс: полигенетические лавины					
Смешанного перекристаллизованного и сухого свежеснежного снега	Турбулентный, волновой процесс	>1400	>3000	>80	Геофизические процессы в снежной толще в сочетании с гидрометеорологическими процессами
Смешанного перекристаллизованного и сухого метелевого снега		>1000	>2000	>80	
Смешанного перекристаллизованного и мокрого снега		100,0	1200	50	



Важными характеристиками в вопросах прогнозирования лавин являются:

- дальность выбега лавины (средняя или максимальная);
- кинетическая энергия лавины на различных участках;
- время прихода лавины в конкретную точку склона;
- время достижения максимальной кинетической энергии (на прилегающем участке).





По типам движения **лавины** подразделяют на:

- *снежные осовы (оползни)* – снег соскальзывает с крутых и травянистых склонов (сила сцепления 25-40 кг/м<sup>2</sup>) без ложбин - русел при превышении над дном долины не более 50-100 м. Скорость движения небольшая. Движение снега может происходить по ранее образовавшемуся насту (подтаявший, намокший и замерзший поверхностный слой);

- *лотковые лавины* – снежная масса отрывается и скользит с высот более 100 м. По определенным ложбинам, увлекая за собой обломочный каменный материал (не более 10-20% от общей массы снега). У подножия склона образуется крутой снежный конус выноса;

- *прыгающая лавина* – образуется из лотковой (или даже из оползня, осова), если она достигает отвесного участка склона и делает «прыжок» на нижний участок склона или прямо на дно долины.



# Европейская шкала лавинной опасности

1	2	3	5	6
Степень лавинной опасности	Устойчивость снежного покрова	Рекомендации для наземных транспортных путей и населенных пунктов	Рекомендации для людей вне защищенных от лавин зонах	
1	<b>Незначительная</b>	Снежный покров хорошо закреплен на горных склонах и стабилен	Угроза отсутствует	Безопасные условия
2	<b>Умеренная</b>	Снежный покров на крутых склонах закреплен умеренно, на остальных склонах хорошо	В основном благоприятные условия	Осторожный выбор пути передвижения, особенно по указанным крутым склонам указанной экспозиции и высотным уровням
3	<b>Значительная</b>	Снежный покров закреплен на крутых склонах закреплен либо умеренно либо слабо	Незащищенные участки опасны. Необходимо принятие мер предосторожности	Относительно неблагоприятные условия. Необходимо избегать передвижения в районе указанных склонов
4	<b>Большая</b>	Снежный покров слабо закреплен на большинстве склонов	На большинстве незащищенных участков опасно. Рекомендуется принимать меры предосторожности	Неблагоприятные условия. Необходим большой опыт для передвижения. Ограничение перемещения по склонам.
5	<b>Очень большая (исключительная)</b>	Снежный покров нестабилен	Большая угроза. Необходимо соблюдение мер предосторожности	Очень неблагоприятные условия. Рекомендуется отказ на перемещение



# Международная шкала лавинной опасности

Цвет	Уровень лавинной опасности	Устойчивость снежного покрова	Вероятность схода лавин
	1 уровень «Низкий»	Снежный покров горных склонах стабилен.	Самопроизвольные и спровоцированные лавины маловероятны.
	2 уровень «Умеренный»	Снежный покров на крутых склонах закреплен умеренно, на остальных склонах хорошо.	Самопроизвольные лавины маловероятны. Спровоцированные возможны при большой нагрузке.
	3 уровень «Значительный»	Снежный покров закреплен на крутых склонах либо умеренно, либо слабо.	Спровоцированные лавины возможны при небольшой нагрузке. Самопроизвольные лавины возможны на отдельных склонах.
	4 уровень «Высокий»	Снежный покров слабо закреплен на большинстве склонов.	Самопроизвольные и спровоцированные лавины весьма вероятны.
	5 уровень «Экстремальный»	Снежный покров нестабилен.	Многочисленные самопроизвольные и спровоцированные лавины неизбежны.







Службам прогнозирования лавин необходимо обеспечить контроль за следующими параметрами:

- склоны с горизонтом уклона  $25-55^{\circ}$ ;
- характер поверхности склона;
- высота снежного покрова на склоне;
- характер толщи массы снега;
- интенсивность снегопада (см / ч);
- продолжительность снегопада;
- направление и сила ветра;
- метелевый нанос снега на склон;
- количество дней подряд с положительной температурой;
- мокрые осадки в период оттепели.





# Диапазоны основных характеристик снежных лавин

Наименование показателей	Величина
Масса, т	От единиц до $10^7$ т
Объем, V	От единиц до $10^7$ м <sup>3</sup>
Скорость движения, v	Мокрых лавин – 10-20 м/с Сухих лавин – 20-100 м/с
Динамическое давление, p <sub>n</sub>	До 2 МПа
Дальность выброса, L <sub>max</sub>	До 2000 м
Повторяемость	0,01–20 ед./год
Плотность лавинного снега, ρ	Сухих лавин – 0,2-0,4 т/м <sup>3</sup> Мокрых лавин – 0,3–0,8 т/м <sup>3</sup>
Высота фронта лавины, H <sub>л</sub>	От долей метра до 10 м
Площадь сечения лавинного потока, м <sup>2</sup>	От единиц до $10^3$ м <sup>2</sup>
Коэффициент K лавинной активности площади (отношение суммарной площади лавиноопасных участков в бассейне к общей площади бассейна)	0,3–1,0
Коэффициент поражения дна долины (отношение поражаемой длины дна долины ко всей длине на данном участке)	0,2–1,0
Объем лавинных завалов на дне долин и дорогах	До $10^7$ м <sup>3</sup>



Сход лавин происходит по достижении снежным покровом критической высоты, которую можно определить по следующей формуле:

$$h_{\text{кр}} = \frac{C}{\gamma \cdot \cos \alpha (\sin \alpha - \text{tg} \varphi \cdot \cos \alpha)},$$

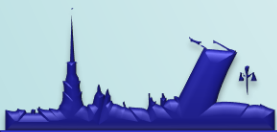
где  $h_{\text{кр}}$  – критическая высота снежного покрова, превышение над которой обеспечивает при прочих равных условиях сход лавины (рисунок 2.1.4);

$C$  – сила сцепления снега с подстилающей поверхностью, которая играет решающую роль в удержании снежного покрова на склоне;

$\gamma$  – удельная масса снега;

$\alpha$  – угол наклона склона;

$\text{tg} \varphi$  – коэффициента внутреннего трения в снеге  $\text{tg} \varphi$ .





Формула для расчета критической мощности снежного покрова для лавин лоткового типа, выглядит следующим образом:

$$H_{\text{СП}_{\text{кр}}} = \frac{C_{\text{сд}}}{\gamma_{\text{сп}} (\sin\alpha - f_{\text{тр}} \cdot \cos\alpha)},$$

- где
- $C_{\text{сд}}$  – сопротивление сдвигу;
  - $\gamma_{\text{сп}}$  – объемный вес снежного покрова;
  - $f_{\text{тр}}$  – коэффициент внутреннего трения;
  - $\alpha$  – угол наклона склона.





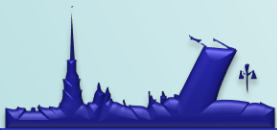
Метод прогнозирования лавин, обусловленных снегопадами, основан на уравнении ниже. Зная величину  $H_{СП_{кр}}$ , то время наступления лавиноопасного периода от начала снегопада можно определить из уравнения

$$T_{ЛП} = \frac{H_{СП_{кр}}}{i_{СП}}$$

где  $i_{СП}$  – интенсивность нарастания снежного покрова в м/час, или из уравнения

$$T_{ЛП} = \frac{C_{сд}}{i_{СП} \cdot \gamma_{СП} (\sin \alpha - f_{тр} \cdot \cos \alpha)}$$

Величины  $i_{СП}$ ,  $\gamma_{СП}$ ,  $C_{сд}$ ,  $f_{тр}$  определяются экспериментально в лавиносборе, типичном для данного района, и на типичной высоте.





Прогнозирование лавин, связанных с оттепелями, возможно для целого района.

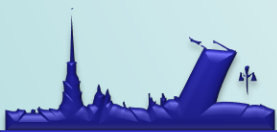
В общем виде уравнение для определения начала лавиноопасного периода имеет вид

$$T_{\text{ЛП}} = F(t_{\text{от}}, \Delta t_{\text{от}}, T_{\text{от}}),$$

где  $t_{\text{от}}$  – максимальная температура за время оттепели;

$\Delta t_{\text{от}}$  – интенсивность повышения температуры во время оттепели;

$T_{\text{от}}$  – продолжительность оттепели.





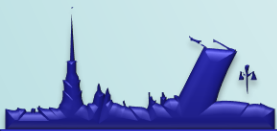
Для случая прогнозирования лавин, обусловленных выпадением дождя, время наступления опасного периода от момента начала дождя можно рассчитать по формуле

$$T_{\text{ЛП}} = \frac{0,1 \cdot H_{\text{в}} \cdot \beta_{\text{в}}}{R},$$

где  $H_{\text{в}}$  – запас воды в снежном покрове;

$\beta_{\text{в}}$  – содержание свободной воды в снежном покрове до начала дождя;

$R$  – интенсивность осадков, при этом делается допущение, что интенсивность дождя не изменяется.





Когда лавины возникают при резком понижении температуры, величина сдвигающего усилия  $\tau_{\text{сд}}$ , возникающего в результате охлаждения снежного покрова, выражается формулой

$$\tau_{\text{сд}} = \frac{\alpha_{\text{сж}} \cdot E \cdot \Delta\theta}{4 \cdot (1 - \mu)},$$

где  $\alpha_{\text{сж}}$  – коэффициент температурного сжатия снежного покрова;

$E$  – модуль нормальной упругости;

$\mu$  – коэффициент бокового расширения снежного покрова;

$\Delta\theta$  – градиент температуры охлаждающей толщи снега.

Суммируя величину  $\tau_{\text{сд}}$  с составляющей силы тяжести, действующей поперек склона, получают суммарную силу, стремящуюся сдвинуть снежный пласт. Сравнение этой величины с суммой сил, удерживающих снежный покров на склоне, дает представление об его устойчивости.





## «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»

Фоновый прогноз составляется на основе данных анализа синоптических ситуаций, метеорологических элементов и специальных снеголавинных наблюдений в данном регионе. Например, для территории Кавказа рекомендуются следующие прогностические зависимости:

$$T_{\text{ЛП}} = 24 \cdot \frac{H_{\text{СПкр}} - 2,8 \cdot \sqrt{H_{\text{СТ}}}}{X};$$

$$T_{\text{ЛП}} = 24 \cdot \frac{H_{\text{СПкр}} - 0,1 \cdot H_{\text{СТ}}}{\Delta H_{\text{СП}}},$$

где  $T_{\text{ЛП}}$  – время от начала снегопада до лавиноопасного периода, ч;

$H_{\text{СТ}}$  – толщина старого снега перед началом снегопада, см, (измеряется в местах, максимально приближенных к тем, где происходит отрыв лавин);

$X$  – сумма осадков (в слое воды) за первые сутки снегопада, км, (берется ориентировочно из текущих метеорологических наблюдений);

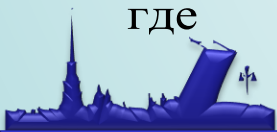
$\Delta H_{\text{СП}}$  – прирост толщины снежного покрова за первые сутки снегопада, см, (рассчитывается по ожидаемым суммам осадков  $X$  и плотности свежеснегавшего снега);

$H_{\text{СПкр}}$  – критическая высота снежного покрова, вычисленная по формуле:

$$H_{\text{СПкр}} = 17200 \cdot \alpha^{-2} \left[ (0,9 + \rho_{\text{СП}})^6 + (0,99 + \rho_{\text{СП}})^6 \right],$$

где  $\alpha$  – крутизна склона, градус;

$\rho_{\text{СП}}$  – плотность снега, г/см<sup>3</sup>.





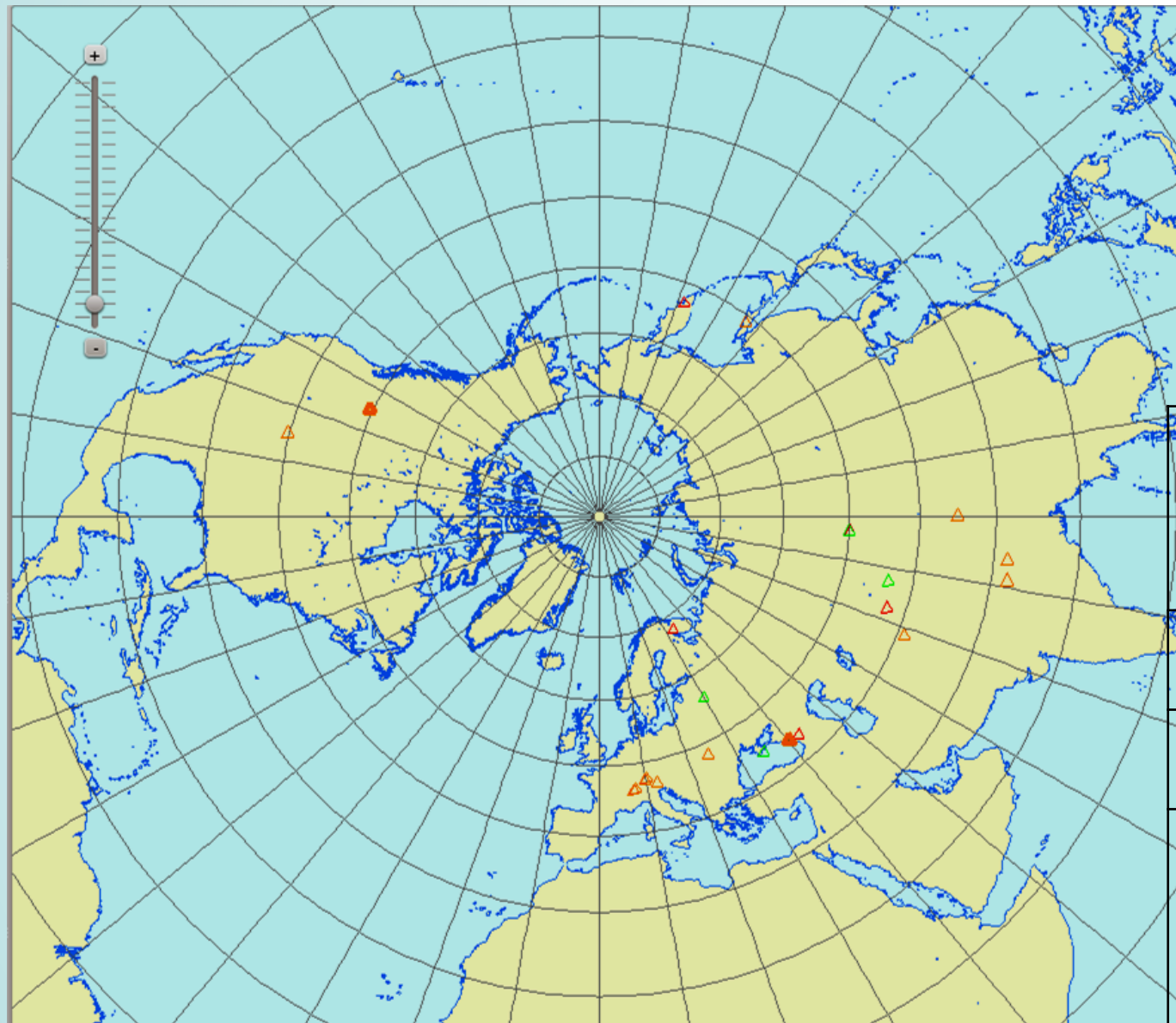
# Входные данные для прогнозирования лавинной опасности в горном районе

№ п/п	Наименование параметра, величины	Обозначение	Размерность
	Лавины		
1.	Дата	$dd.mm.yy$	[-]
2.	Широта	$\varphi$	град
3.	Долгота	$\lambda$	град
4.	Площадь лавиносбора (ЛС)	$S_{\text{ЛС}}$	$\text{м}^2$
5.	Верхняя отметка (место зарождения лавины)	$H_{\text{зар}}$	$\text{м}^2$
6.	Нижняя отметка (точка остановки)	$H_{\text{ост.}}$	м
7.	Превышение высоты места зарождения лавины до точки ее остановки	$\Delta H$	м
8.	Угол наклона	$\alpha$	град
9.	Длина пути с учетом угла $\alpha$	$S'$	м
10.	Максимальная высота снежного покрова в ЛС	$h_{\text{max}}$	м
11.	Площадь конуса	$S_{\text{конуса}}$	$\text{м}^2$
12.	Угол наклона конуса	$\beta$	град
13.	Высота снежного покрова (max)	$H_{\text{max}}$	м
14.	Плотность снежного покрова: – свежавыпавший снег – старый снег	$\rho_{(\text{св})}$ $\rho_{(\text{ст})}$	$\text{т}/\text{м}^3$ $\text{т}/\text{м}^3$



# Результат отображения графического слоя лавиноопасной ситуации

**Критерии определения класса мощности лавины принятые в программном комплексе прогнозирования опасных природных явлений в литосфере разработанном в ВКА имени А.Ф.Можайского**



Объем лавины, м <sup>3</sup>	Класс мощности	Цвет треугольника на карте
[0;10000]	Слабая	Зеленый
(10000;400000]	Средняя	Желтый
>400000	Особо сильная (катастрофическая)	Красный



Основным направлением ГИС технологий прогнозирования лавинной опасности является геоинформационная поддержка функционирования территориальных объектов.

Уже сейчас ГИС-технологии используются при решении задач лавинообразования и защиты населения от лавин, в частности при решении следующих задач:

- выявление очагов зарождения лавин;
- моделирование процессов зарождения и схода снежных лавин;
- оценка риска опасности для населения и выявление зон поражения;
- создание баз данных лавин и кадастр очагов лавинообразования;
- прогноз лавинной опасности.

Применение элементов искусственного интеллекта подразумевает создание обучающей выборки и их интерпретацию на карте с координатной привязкой, разработку глубокой экспертной системы с алгоритмами принятия решений на основе выбора необходимых параметров и предикторов.

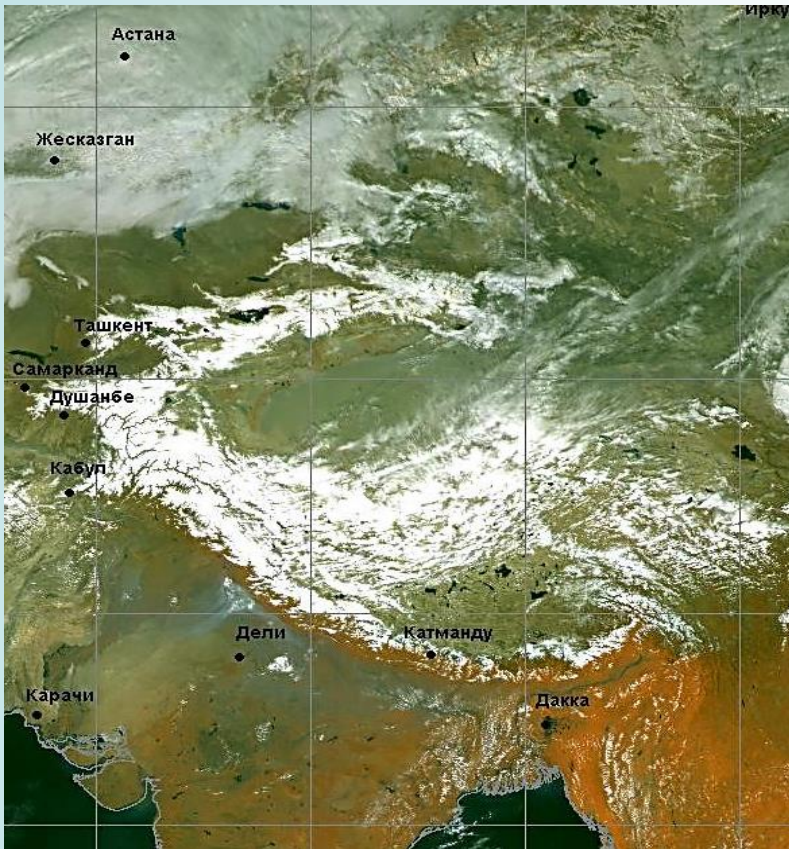
В целях оценивания территории на наличие лавинной опасности возможно использовать снимки, полученные методами дистанционного зондирования Земли со спутников, а также аэровизуальные наблюдения с летательных аппаратов.

Это позволит обеспечить постоянный мониторинг и контроль не только лавинной опасности, но и ряда других ОППЯ.

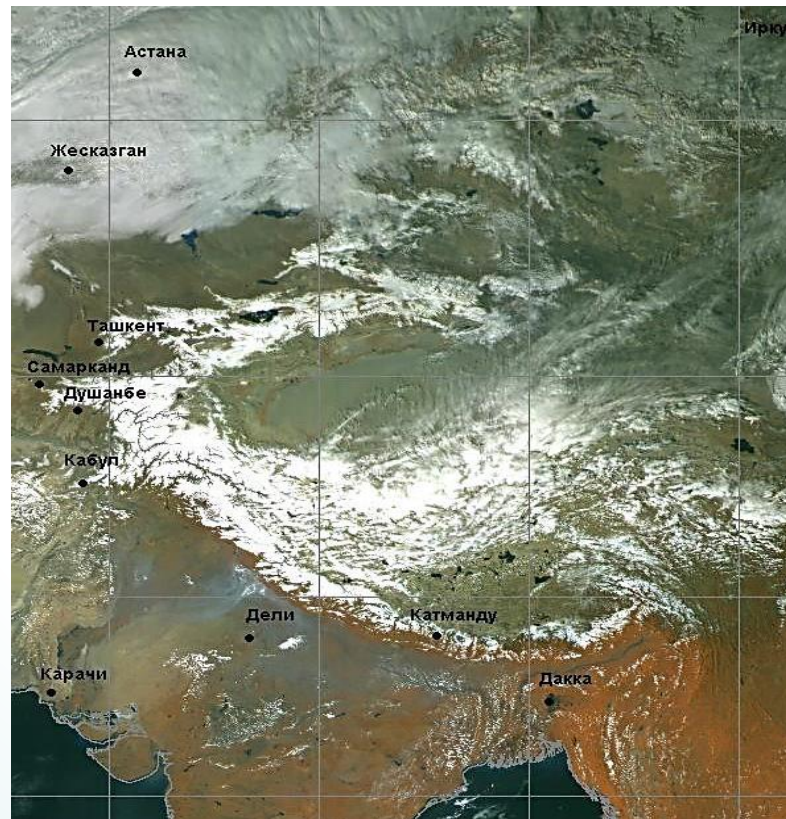


# «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»

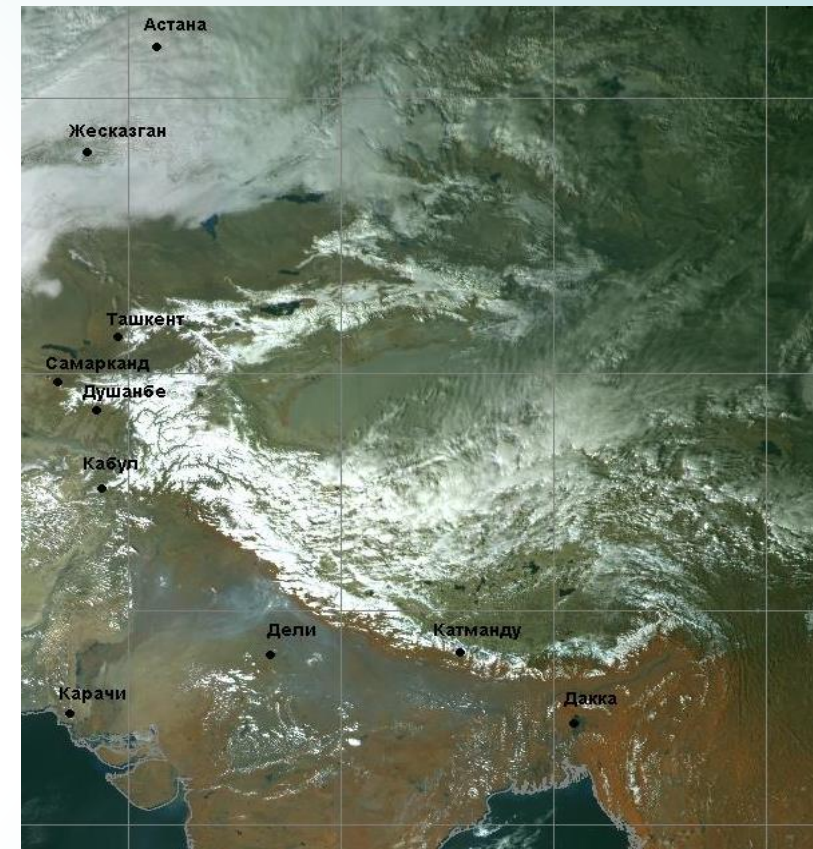
## Снимки полученные с космического аппарата «Электро-Л» № 3



10.11.2022  
7:00



10.11.2022  
8:00



10.11.2022  
9:00



**Точная интерпретация снимков полученных с измерительных бортовых блоков оптикоэлектронных и радиолокационных систем дистанционного зондирования Земли космического базирования и сведение их в единую базу данных является важной и актуальной задачей в вопросах построения ГИС-технологий.**

**Анализ морфометрических характеристик горных районов совместно с данными, полученными с помощью дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), позволит наиболее точно построить карты потенциальной лавинной опасности.**

**На спутниковых снимках идентифицируются факты схода лавин по наличию лавинных снежников и лавинного мусора на территориях, где раньше снежный покров не наблюдался, а также изменению растительного покрова, повалу лесного массива, и общей картине изменения заснеженных поверхностей горных склонов.**

**Высоких результатов возможно достичь с применением современных компьютеров с высокой вычислительной мощностью.**



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**

