

# Мониторинг снежного покрова по спутниковым данным

Волкова Е. В., Кухарский А.В.

ФГБУ «НИЦ «Планета»  
123242, Москва, Большой Предтеченский пер., д.7.  
E-mail: [quantocosa@bk.ru](mailto:quantocosa@bk.ru), [kukharsky@planet.iitp.ru](mailto:kukharsky@planet.iitp.ru)

**Ключевые слова:** SEVIRI, Meteosat, МСУ-ГС, Арктика-М, снежный покров,

## Введение

Роль снежного покрова важна в формировании гидрологического и энергетического балансов территории, при планировании строительства и транспортных потоков, прогнозирования сельскохозяйственной и коммунальной деятельности, паводков, снежных лавин, селей, снежных заносов и др. В холодный период года большая часть территории России покрыта снегом, да и в тёплый период года снежный покров может сохраняться в некоторых районах. Наземные наблюдения за снежным покровом на метеостанциях и снегомерных постах неравномерно распределены по территории России: радиус обзора наблюдателя всего до 5 км, расстояние между ними от нескольких десятков до нескольких сотен километров. Поэтому спутниковый мониторинг снежного покрова для удалённых регионов становится единственным источником информации.

Разработанные к настоящему времени в мире и в России спутниковые методики детектирования снежного покрова можно условно разделить на пороговые (подавляющее большинство), порогово-дискриминантные и с использованием ИИ. Все они используют наблюдения в каналах видимого и дополнительно к ним ИК диапазона как в виде значений альбедо и радиационной температуры, так и их разностей в различных спектральных каналах или рассчитанным по ним индексов (например, снежный (NDSI), вегетации (NDVI) и др.). Выходные продукты получаются в виде карт, на которых для безоблачных пикселов проведена классификация на классы снега (без снега, снег, возможно снег) или классы вероятности наличия снега (например, высокая и низкая вероятность или от 0 до 100 % по градациям или непрерывной шкалой).

В «НИЦ «Планета» разработаны 2 методики детектирования снежного покрова по спутниковым данным и реализованы в автоматизированных программных комплексах (АПК). В работе приведены описания методик и результаты валидация карт вероятности снежного покрова наземными наблюдениями на метеостанциях, а также выполнено

сравнение получаемых карт обоими АПК, в т.ч. валидация наземными наблюдениями на метеостанциях.

## 1. АПК «SNOWsevex»

АПК «SNOWsevex» [1] предназначен для оперативного мониторинга снежного покрова по данным радиометра SEVIRI космических аппаратов (КА) серии Meteosat. В процессе работы АПК «SNOWsevex» строит «срочные» и суточные монтажи «Карты вероятности снежного покрова» и проводит ежедневную и ежемесячную валидацию результатов спутниковой классификации наземными наблюдениями за снежным покровом на метеостанциях.

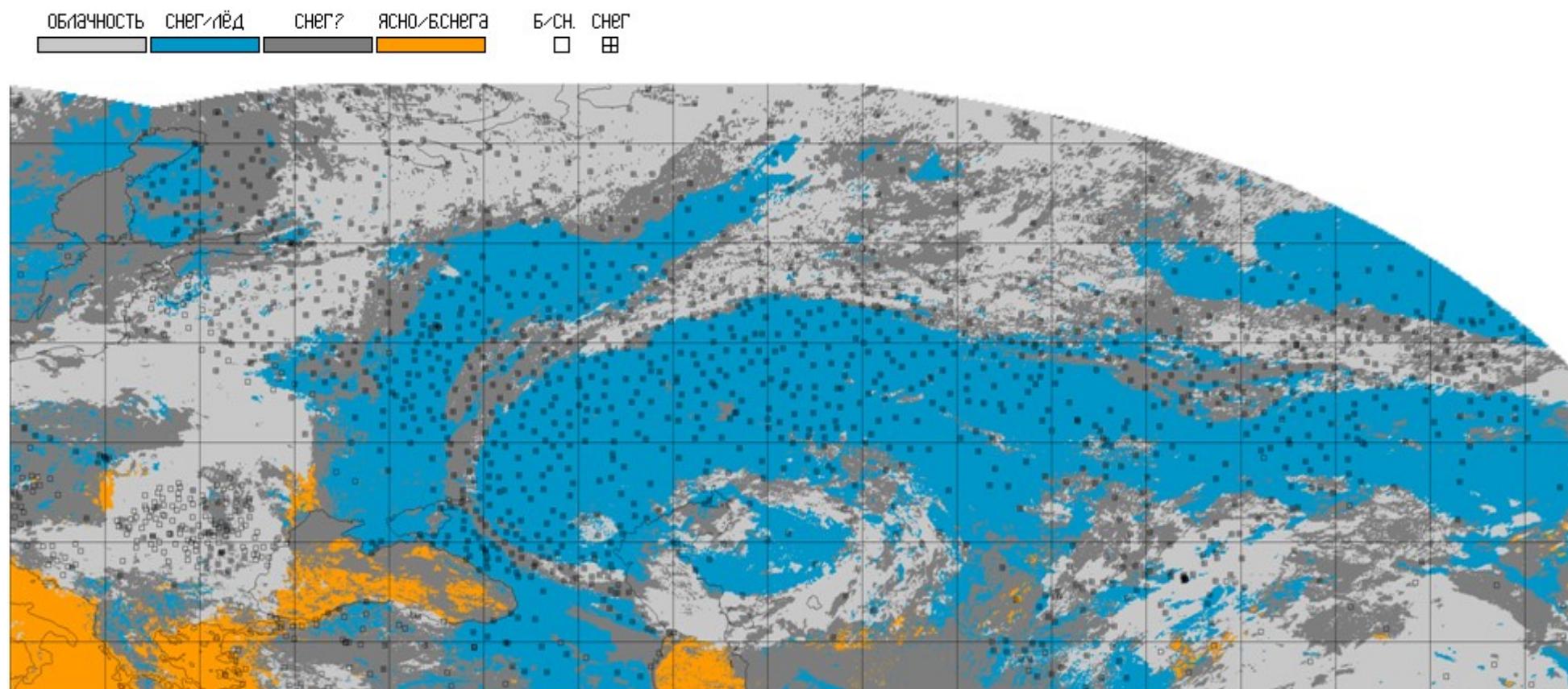
Помимо спутниковой информации (каналы 1-10 SEVIRI/Meteosat) в АПК используются данные прогностической модели Exeter (Великобритания, сетка  $2,5^\circ$ , сроки 0 и 12 ч UTC), а также числовой рельеф. В основе АПК лежит оригинальная авторская пороговая методика дешифрирования облачности по косвенным признакам. Эмпирически полученные пороговые решения являются линейными и нелинейными функциями от географической широты места ( $\phi$ ), высоты места над уровнем моря ( $h_{ref}$ ), высоты солнца над горизонтом ( $h_o$ ), угла спутникового визирования (viz), приземной температуры воздуха ( $T_{a_{призем}}$ ) и приведённой к уровню моря ( $T_{a_{ур.моря}}$ ), а также максимальной в атмосферном столбе ( $T_{a_{max}}$ ) и на некоторых барических уровнях (основных (например,  $T_{a_{500}}$ ) и промежуточных (например,  $T_{a_{700-500}}$ )).

В процессе работы АПК «SNOWsevex» для отдельных сроков спутниковых наблюдений SEVIRI/Meteosat определяет облачную маску по данным измерений альбедо (каналы 1-3 ( $\lambda=0,6, 0,9$  и  $1,6$  мкм)) и радиационной температуры (каналы 4-7, 9, 10 ( $\lambda=3,9, 6,2, 7,3, 8,7, 10,8$  и  $12,0$  мкм)), в том числе их разностей ( $(A_{09}-A_{06})$ ,  $(T_{120}-T_{87})$ ,  $(T_{39}-T_{108})$ ,  $(T_{73}-T_{62})$ ), и для безоблачных пикселов в светлое время суток детектирует снег, используя данные о  $A_{06}$ ,  $T_{108}$  и  $T_a$ . Для остальных безоблачных пикселов определяется вероятность существования снежного покрова, то есть наличие у поверхности земли условий для снега (низкие значения  $T_a$  и  $T_{108}$ ). В дневное время для безоблачных пикселов проводится классификация на 3 класса (вероятность наличия снега 100 %,  $>0$  % и 0 %), а в ночное время только на 2 класса (вероятность наличия снега  $>0$  % и 0 %). Таким образом, АПК в течение суток детектирует 4 класса объектов: 1- «облачно» (большая часть пикселя занята облачностью и о состоянии подстилающей поверхности невозможно судить точно); 2- «безоблачно/снег/лёд» (пикセル преимущественно безоблачный и скорее всего (вероятность  $\sim 100$  %) со снегом или льдом на поверхности земли и/или на деревьях); 3- «безоблачно/возможно снег» (пикセル преимущественно безоблачный, на поверхности

земли присутствуют условия для его существования, но снег по каким-то причинам не видно (например, под деревьями, ночью и др.), вероятность наличия снега больше 0 %, но меньше 100 %); 4- «безоблачно/без снега» (пиксел преимущественно безоблачный и скорее всего без снега (вероятность наличия снега  $\sim 0\%$ )). В класс №3 также попадают ситуации со шлейфом выпадающего снега из облаков, но не на подстилающей поверхности (например, над незамёрзшими водоёмами) или когда радиационные характеристики облаков близки к снежному покрову (то есть ошибочная ситуация со снегом, а на самом деле облако), а также ситуации, когда в течение дня хотя бы 1 раз пиксел был сомнителен с точки зрения наличия снега, а всё остальное время он был бесснежным. Таким образом, класс №2 несколько занижает зоны со снежным покровом, но снег там есть практически со 100 % уверенностью, а класс №3, наоборот, несколько завышает зоны с возможным снежным покровом. Класс №4 практически 100 % без снега, а класс №1 – о наличии снега неизвестно из-за экранирования облаками.

Используя результаты «срочных» наблюдений для 8ми основных синоптических сроков (0, 3, 6, 9, 12, 15, 18 и 21 ч UTC), АПК «SNOWsevex» строит суточные монтажи снежно-ледового покрова сперва для каждого КА Meteosat, а затем для двух КА (№9 и №11). При построении суточных монтажей для каждого КА «срочные» карты последовательно накладываются друг на друга так, чтобы найти как можно больше безоблачных пикселов и определить для них вероятность наличия снежного покрова. Если в течение суток хотя бы за 1 срок наблюдения в пикселе отмечался 100 % снег, то этот класс будет и в монтаже. Класс «облачно» на монтаже означает, что в течение суток этот пиксел ни разу не был безоблачным. 100% бесснежным пиксел будет только, если в течение суток в пикселе всегда были бесснежные условия. В остальных случаях пиксел будет считаться сомнительным, то есть с ненулевой вероятностью наличия снега/льда. Аналогично при построении суточных монтажей по двум КА.

Выходные продукты АПК «SNOWsevex» – бинарные матрицы со значениями кодов классов и соответствующие им растровые карты в искусственных цветах. «Срочные» карты и суточные монтажи для каждого КА получаются для полного круга обзора прибора SEVIRI/Meteosat или его фрагмента с исходным разрешением (поперечная азимутальная проекция виртуального спутника), на регулярной сетке (нормальная цилиндрическая равнопромежуточная проекция) или для любой картографической проекции, заданной матрицей координат, а монтажи для 2х КА – только на регулярной сетке или в заданной картпроекции. Зона обзора радиометра SEVIRI/Meteosat ограничена углом спутникового визирования до  $7,7^\circ$  или  $\pm 69^\circ$  широты/долготы вокруг точки надира.



*Рис. 1. Пример визуальной валидации карт вероятности снежного покрова данными наземных наблюдений на метеостанциях (суточный монтааж SEVIRI/Meteosat-11 ( $0^{\circ}$  в.д.) и SEVIRI/Meteosat-9 ( $45,5^{\circ}$  в.д.), 28 февраля 2025 г., размеры значков  $11 \times 11$  пикселов). Линии географической сетки проведены через  $10^{\circ}$*

Результаты автоматической валидации представляются ежедневно в виде растровых карт вероятности снежного покрова на регулярной сетке с нанесёнными на них в виде специальных значков наземными наблюдениями на метеостанциях (см. рис. 1) и в виде текстовых журналов с оценками точности спутниковой классификации в среднем по заданной территории в среднем за сутки, а также ежемесячно (за прошедший календарный месяц) – в виде текстовых журналов в среднем по заданной территории в среднем за месяц.

По результатам авторской валидации спутниковый продукт «Карты снежного покрова по данным SEVIRI/Meteosat» был рекомендован для мониторинга снежного покрова в пределах Европейской территории России и включён в список продуктов ГИС «Волга» [2], в том числе в зарегистрированную базу данных «НИЦ «Планета» «База данных снежного покрова бассейна реки Волга по данным радиометра SEVIRI КА серии Meteosat».

## 2. АПК «SNOWarknser»

АПК «SNOWarknser» предназначен для ежедневного оперативного мониторинга в автоматическом режиме границ залегания устойчивого снежно-ледового покрова по данным спутникового прибора МСУ-ГС-ВЭ (многозональное сканирующее устройство – геостационарное, модернизированное для высокоэллиптических орбит) высокоэллиптических полярно-орбитальных гидрометеорологических КА серии «Арктика-М». В процессе работы АПК «SNOWarknser» строит «срочные» и суточные монтажи «Карты вероятности снежного покрова» и проводит ежедневную и ежемесячную валидацию результатов спутниковой классификации наземными наблюдениями за снежным покровом на метеостанциях.

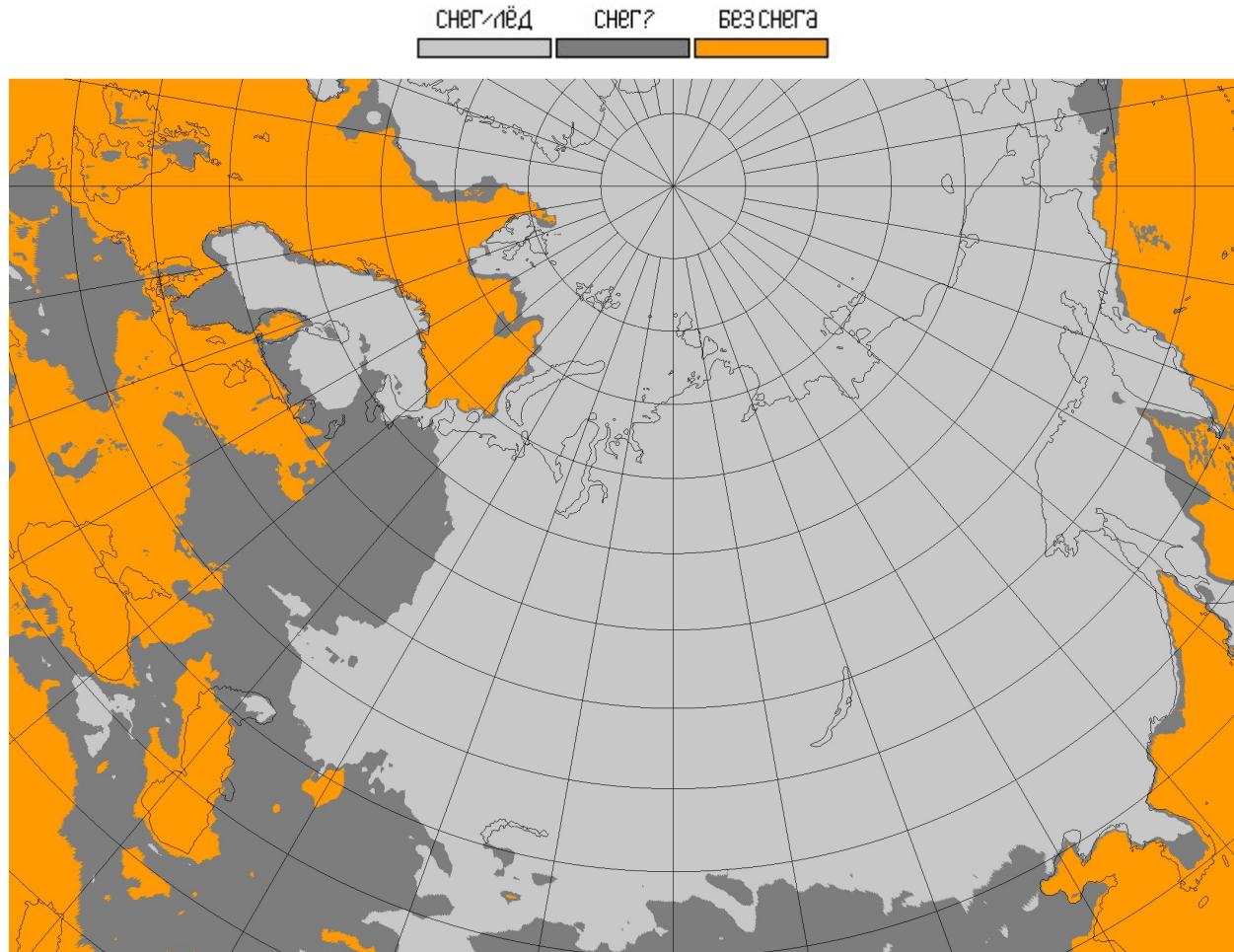
В качестве основной информации АПК «SNOWarknser» использует значения радиационной температуры в каналах 4-10 ( $\lambda=3,75$  ( $T_{38}$ ), 6,35 ( $T_{64}$ ), 8,0 ( $T_{80}$ ), 8,7 ( $T_{87}$ ), 9,7 ( $T_{97}$ ), 10,7 ( $T_{107}$ ) и 11,85 ( $T_{119}$ ) мкм) прибора МСУ-ГС-ВЭ и их разности (( $T_{107}-T_{119}$ ), ( $T_{38}-T_{107}$ ), ( $T_{97}-T_{87}$ ), ( $T_{64}-T_{80}$ ) и ( $T_{80}-T_{107}$ )). Помимо спутниковых данных для дешифрирования облачной маски используются цифровая модель рельефа (gtopo30 (<http://eros.usgs.gov>)), рассчитанная для каждого пикселя полного круга обзора прибора МСУ-ГС-ВЭ с исходным разрешением ( $h_{ref}$ ), и поля численного прогноза NCEP GFS (пространственное разрешение  $0,5^\circ$ ; сроки 0, 6, 12 и 18 ч ВСВ; заблаговременность 0 или 6 ч): приземная температура воздуха ( $T_{a_{призем}}$ ), температура подстилающей поверхности ( $T_{пп}$ ), температура воздуха на 17ти барических уровнях ( $T_{a_{ppp}}$ ),  $ppp=1000, 950, 900, 850, 800$ ,

750, 700, 650, 600, 550, 500, 450, 400, 350, 300 и 250 гПа и атмосферное давление на уровне моря ( $p_{\text{ур.моря}}$ )).

Дешифрирование облачной маски и детектирование снежного покрова осуществляются попиксельно для полного круга обзора прибора МСУ-ГС-ВЭ с исходным разрешением пороговым методом по косвенным признакам с помощью оригинальной авторской пороговой методики. Пороговые значения предикторных характеристик являются преимущественно линейными функциями от температуры воздуха, приведённой к уровню моря ( $T_{a_{\text{ур.моря}}}$ ), географической широты места ( $\phi$ ),  $h_{\text{ref}}$ , высоты солнца над горизонтом ( $h_o$ ),  $T_{a_{\text{призем}}}$ , температуры воздуха максимальной в атмосферном столбе ( $T_{a_{\text{max}}}$ ) и др. Оригинальные авторские пороговые решения получены эмпирическим путём с использованием климатической информации об облачности и учитывают климатические особенности для данного региона, а также сезонность, зональность и суточный ход. На первом этапе работы АПК для каждого спутникового сеанса в круглосуточном режиме детектирует облачную маску и определяет вероятность наличия снежного покрова отдельно для облачных и безоблачных условий отдельно над сушей и водой. Для облачных пикселов используются только данные численного прогноза модели NCEP GFS о  $T_{a_{\text{призем}}}$  и подстилающей поверхности ( $T_{\text{пп}}$ ) (пороговые решения используют сведения о  $h_o$  для воды и о  $h_o$  и  $\phi$  для суши), а для безоблачных пикселов к ним добавляется предиктор  $T_{107}$  (пороговые решения используют сведения о  $h_o$  и о  $T_{a_{\text{призем}}}$  и  $T_{\text{пп}}$ ). Независимо от времени суток выделяется 3 класса: вероятность наличия снега/льда 100 %,  $>0$  % и 0 %, т.е. классы «снег/льд», «вероятно снег/льд» и «без снега и льда». При построении суточных монтажей «срочные» карты (8 основных синоптических сроков) по данным двух КА последовательно накладываются друг на друга. По итогам построения пиксел монтажа причисляется к классам «снег/льд» и «без снега/льда», если в течение всего дня в нём ни разу не было других классов. В противном случае пиксел относится к классу «вероятно снег/льд», то есть является сомнительным, с ненулевой вероятностью наличия снега/льда (см. рис. 2).

Выходные продукты АПК «SNOWarknser» получаются в виде растровых карт вероятности снежного покрова и соответствующих им числовых матриц с кодами классов для каждого сеанса спутникового наблюдения для полного круга обзора в исходной проекции (косая азимутальная проекция виртуального спутника), на регулярной сетке (нормальная равнопромежуточная цилиндрическая проекция) для территории России и сопредельных стран или любого заданного фрагмента (например, регион «Россия»: 37,5-85° с.ш. и 15° в.д. - 165° з.д. с шагом 1,5' (0,025°) между пикселами), а также в косой азимутальной стереографической проекции для территории России и сопредельных стран,

включая северный полюс (например, регион «Россия+СП»:  $\sim 37,5^\circ$  с.ш. -  $\sim 90^\circ$  с.ш. и  $\sim 10^\circ$  з.д. -  $\sim 180^\circ$  в.д., масштаб  $\sim 4$  км), а также в виде суточных монтажей на регулярной сетке для территории России и сопредельных стран или любого заданного фрагмента, а также в косой азимутальной стереографической проекции.



**Рисунок 2.** Карта вероятности снежно-ледового покрова для региона «Россия+СП» в косой азимутальной стереографической проекции (суточный монтаж за 31 января 2025 г.). Линии географической сетки проведены через  $10^\circ$

Результаты автоматической валидации представляются ежедневно в виде растровых карт вероятности снежного покрова на регулярной сетке с нанесёнными на них в виде специальных значков наземными метеонаблюдениями (см. рис. 3) и в виде текстовых журналов с оценками точности спутниковой классификации в среднем по заданной территории в среднем за сутки, а также ежемесячно (за прошедший календарный месяц) – в виде текстовых журналов в среднем по заданной территории в среднем за месяц.

### 3. Валидация продуктов АПК «SNOWsevex» и АПК «SNOWarknser» наблюдениями на метеостанциях

Для авторской валидации точности классификации снежного покрова АПК «SNOWarknser» и АПК «SNOWsevex» использовались результаты автоматической ежедневной валидации за период с ноября 2024 г. по май 2025 г. наземными наблюдениями на метеостанциях (размеры вырезаемых вокруг метеостанции фрагментов 11x11 пикселов), а АПК «SNOWsevex» – ещё и с января по май 2024 г. Валидация продуктов обоих АПК проводилась для региона 40-67° с.ш. и 15-95° в.д. (Европейская территория России и Западная Сибирь («ETP+3C»)), а для продуктов АПК «SNOWarknser» дополнительно для региона «Россия» (37,5-85,0° с.ш. и 15,0° в.д. - 165° з.д.). Рассчитывались:

- POD (Probability of Detection) – вероятность правильного детектирования класса, то есть количество совпавших пикселов данного класса относительно количества пикселов этого класса по наземным данным;
- POO (Probability of Occurrence) – вероятность правильного распознавания класса, то есть количество совпавших пикселов данного класса относительно количества пикселов этого класса по спутниковым данным;
- HR (Hit Rate) – точность классификации, то есть общее количество совпавших пикселов относительно размера выборки: для 2х (без снега и снег/лёд) и 3х (без снега, вероятно снег и снег/лёд) классов.

Анализ полученного материала показал следующее (см. табл. 1):

- точность классификации (HR) АПК «SNOWsevex» относительно наземных метеонаблюдений несколько ухудшилась в 2025 г. по сравнению с 2024 г. Видимо, это произошло из-за сложных снежно-ледовых условий в 2025 г. на большей части ETP: снег то практически полностью или частично сходил, то снова залегал, при этом достаточно часто отмечалось неполное покрытие территории снегом, например, отсутствие его на открытых местах и наличие под деревьями (сильная мозаичность);
- точность классификации (HR) АПК «SNOWarknser» относительно наземных метеонаблюдений в 2025 г. была заметно лучше, чем у АПК «SNOWsevex» в том же году и сопоставима с точностью его же в 2024 г.;
- точность классификации (HR) АПК «SNOWarknser» относительно наземных метеонаблюдений в 2025 г. практически не зависела от региона. Так, для региона «Россия» она даже чуть лучше, чем для региона «ETP+3C», так как в восточной части

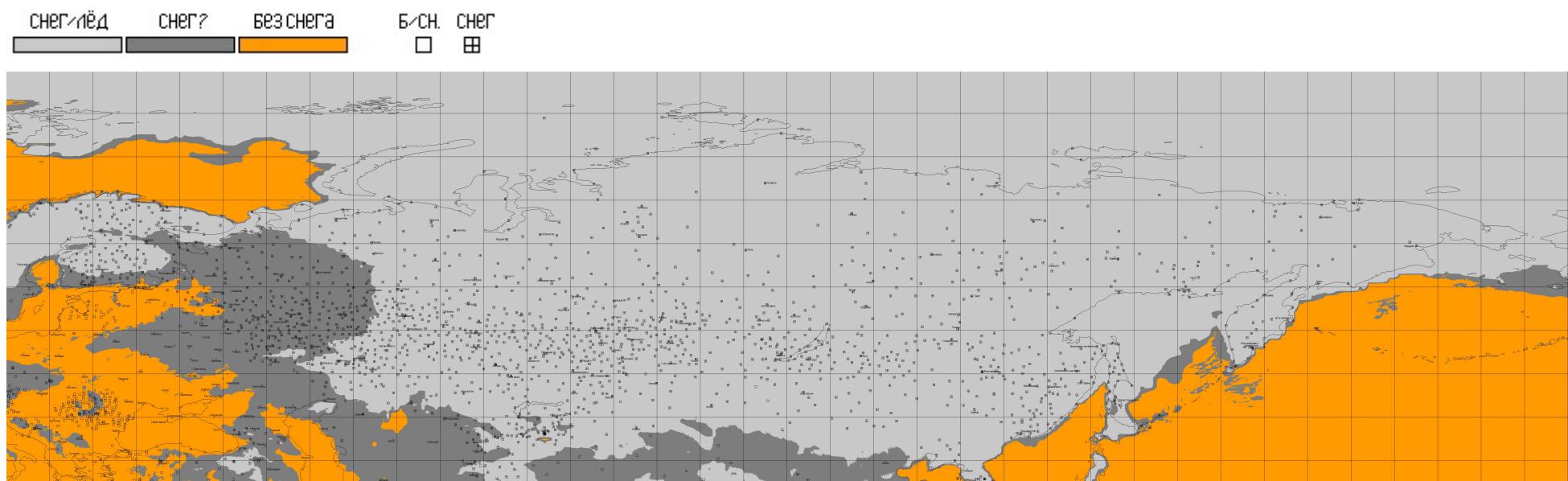
региона «Россия» снежно-ледовые условия были более стабильными в течение большей части холодного периода года;

- независимо от методики, региона и года у двойного класса «снег+вероятно снег» в среднем за холодный период года  $POD \geq 90\%$  (с ноября по март по данным АПК «SNOWarknser» и с ноября по апрель по данным АПК «SNOWsevex» среднемесячные значения  $POD \geq 96\%$ ) – в конце весны значения POD уменьшаются. Для класса «без снега» значения POD существенно ниже (заметно больше по картам АПК «SNOWarknser», чем по картам АПК «SNOWsevex» (среднемесячные значения различаются до двух раз)) и в конце холодного периода растут;

- независимо от региона и месяца по данным АПК «SNOWarknser»  $POO \geq 95\%$  для класса «снег» (в конце холодного периода падает) и  $POO=68-75\%$  для класса «без снега» (в конце холодного периода растёт). По данным АПК «SNOWsevex» для класса «снег» значения  $POO$  заметно ниже (среднемесячные  $POO=60-80\%$  с ноября по апрель), а для класса «без снега» немного выше (среднемесячные  $POO=80-90\%$ ), чем для соответствующих классов по данным АПК «SNOWarknser»;

**Таблица 1.** Оценки точности выходных продуктов АПК «SNOWarknser» и АПК «SNOWsevex» наземными наблюдениями на метеостанциях (Примечание. 2 класса: «снег» и «без снега»)

<b>АПК</b>	<b>«SNOWsevex»</b>		<b>«SNOWarknser»</b>			
<b>регион</b>	<i>Европейская территория России+Западная Сибирь</i>		<i>Россия</i>			
<b>период времени</b>	<i>январь-май 2024 г.</i>	<i>ноябрь 2024 г. – май 2025 г.</i>				
<b>POD, %</b>						
без снега	49	34	59	56		
вероятно снег	75	78	51	47		
снег	52	49	46	56		
снег+снег?	97	96	90	95		
<b>POO, %</b>						
без снега	85	86	80	77		
вероятно снег	61	55	61	66		
снег	76	65	96	97		
снег+снег?	50	48	40	39		
<b>HR, %</b>						
2 класса	58	49	61	64		
3 класса	86	77	85	87		
<b>автоматическое заключение о качестве классификации</b>						
без снега	хор.	удов.	хор.	хор.		
вероятно снег	хор.	хор.	удов.	удов.		
снег	хор.	удов.	хор.	хор.		
3 класса	хор.	удов.	хор.	удов.		



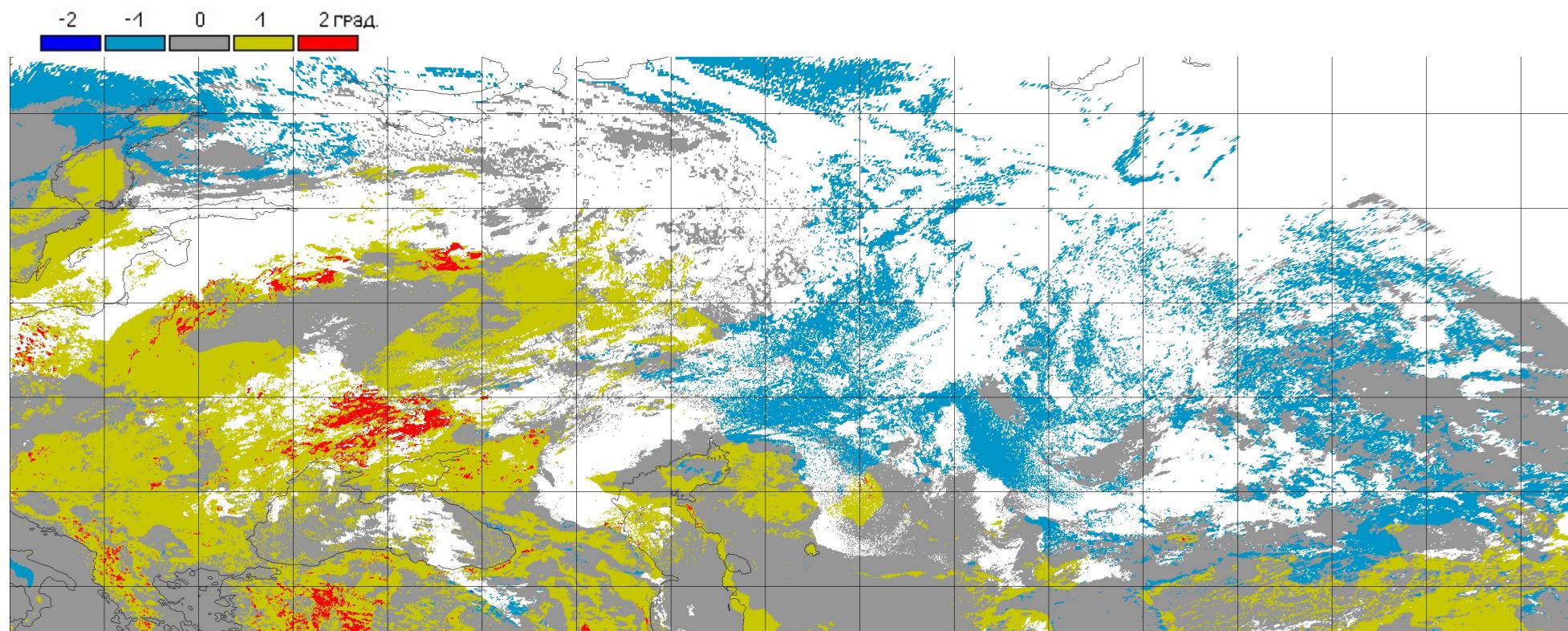
*Рис. 3. Пример визуальной валидации карт вероятности снежного покрова данными наземных наблюдений на метеостанциях (суточный монтаж МСУ-ГС-ВЭ КА Арктика-М №1 и №2, 31 января 2025 г., размеры значков 11x11 пикселов). Линии географической сетки проведены через 5°*

- по данным АПК «SNOWsevex» среднемесячные значения HR для 3х классов в 2024-2025 гг. на 5-10 % ниже, чем по данным АПК «SNOWarkncer» (минимум в ноябре у обоих АПК, максимум зимой, а в мае значения HR опять приблизились к максимуму);
- автоматическое заключение о качестве классификации обоих АПК для 3х классов вероятности снега в среднем за рассматриваемый период составляет ~3,5 балла (для отдельных месяцев 3 и 4 б.), то есть «вполне удовлетворительно/почти хорошо».

#### **4. Сравнение выходных продуктов АПК «SNOWsevex» и АПК «SNOWarkncer»**

Также было проведено попиксельное сравнение выходных продуктов АПК «SNOWsevex» и АПК «SNOWarkncer» за период с ноября 2024 г. по май 2025 г. для территории 40-67° с.ш. и 15-95° в.д. При наложении друг на друга двух карт для каждого пикселя, детектированного как «снег», «без снега» и «вероятно снег» (для облачных пикселов сравнение не проводилось), рассчитывалось отклонение ( $diff=ARKnc-SEVex$ ), выраженное в количестве классов/градаций. Затем для каждого дня и месяца рассчитывались среднее, минимальное и максимальное по региону отклонение, строились гистограммы повторяемости  $diff$  и  $|diff|$  (абсолютное отклонение) по градациям, а также строились карты значений  $diff$ . Анализ полученного материала показал следующее:

- 100%-совпадение ( $diff=0$  град.) карт двух АПК с ноября по март составляет в среднем ~50 % пикселов (для отдельных дней преимущественно 45-55 %), а к лету увеличивается – до более 80 % для отдельных дней в конце мая;
- в подавляющем большинстве случаев «ошибки» одной карты относительно другой составляют  $\pm 1$  соседний класс;
- серьёзные «ошибки» ( $\pm 2$  класса), когда вместо класса «снег» по одной методике детектируется класс «без снега» по другой или наоборот, в среднем отмечаются всего в 1,5 % случаев (с декабря по март в основном не более 1 %, весной 2-3 % (для отдельных дней до 4,5 %));
- в Западной Сибири АПК «SNOWarkncer» для одних и тех же пикселов чаще детектировал класс «снег», а АПК «SNOWsevex» – класс «вероятно снег». На ЕТР из-за сложных снежно-ледовых условий отклонения были в разные стороны (см. рис. 4);
- на картах-монтажах АПК «SNOWarkncer» границу класса «снег» можно с уверенностью считать границей залегания устойчивого снежного покрова. При этом класс «вероятно снег» – это зона с неустойчивым или разорванным снежным покровом.



*Рис. 4. Пример сравнения суточных монтаажей АПК «SNOWarkncer» и АПК «SNOWsevex» (31 января 2025 г., регион 40-67° с.ш. и 15-95° в.д.)*

## Заключение

В табл. 2 приведено краткое сравнение 2х АПК, в т.ч. используемые ими входные данные и предикторные характеристики, размеры территорий покрытия, точность в сравнении с наземными метеонаблюдениями, недостатки и др. В целом, оба АПК («SNOWarkncer» и «SNOWsevex») вполне удовлетворительно детектируют снежный покров. Методика определения снежного покрова по косвенным признакам в составе АПК «SNOWarkncer» практически не уступает по качеству детектирования (в сравнении с наземными метеонаблюдениями) частично прямой методике в составе АПК «SNOWsevex», а для отдельных классов и превосходит её. Со средней вероятностью не ниже ~80-85 % у обоих АПК снега действительно нет в классе «без снега», а в классе «снег» он, наоборот, присутствует. При этом класс «вероятно снег» у АПК «SNOWsevex» – скорее снежный, чем бесснежный, а у АПК «SNOWarkncer» равновероятно. 100%-совпадение карт двух АПК с ноября по март примерно для половины всех случаев и увеличивается к лету. В подавляющем большинстве случаев расхождения карт составляют  $\pm 1$  соседний класс. Серьёзные «ошибки», когда вместо класса «снег» по одной методике детектируется класс «без снега» по другой, в среднем отмечаются всего в 1,5 % случаев. На картах-монтажах АПК «SNOWarkncer» границу класса «снег» можно с уверенностью считать границей залегания устойчивого снежного покрова. При этом класс «вероятно снег» – это зона с неустойчивым или разорванным снежным покровом.

**Таблица 2. Сравнение АПК «SNOWarkncer» и «SNOWsevex» (Примечание. «снег?» = вероятно снег; диапазон изменчивости точности в зависимости от года и региона)**

<b>характеристики и точность АПК</b>	<b>АПК «SNOWsevex»</b>	<b>АПК «SNOWarkncer»</b>
<i>назначение</i>	оперативный мониторинг снежного покрова	оперативный мониторинг границ залегания устойчивого снежного покрова
<i>спутниковые данные</i>	каналы 1-7, 9, 10 прибора SEVIRI KA Meteosat №11 и №9	каналы 4-6, 9, 10 прибора МСУ-ГС-ВЭ КА Арктика-М №1 и №2
<i>дополнительные данные</i>	анализ прогностической модели Exeter (2,5°; 0 и 12 ч UTC), модель рельефа gtopo30	прогноз модели NCEP GFS (0,5°; 0, 6, 12 и 18 ч UTC), модель рельефа gtopo30
<i>тип методики</i>	пороговая: в светлое время суток «видит» снег, а в тёмное время суток – по косвенным признакам	пороговая: круглосуточно по косвенным признакам
<i>предикторные характеристики</i>	T <sub>108</sub> , T <sub>39</sub> , T <sub>120</sub> , T <sub>108-120</sub> , T <sub>73-62</sub> , T <sub>39-108</sub> , T <sub>120-87</sub> , A <sub>06</sub> , A <sub>09</sub> , A <sub>16</sub> , A <sub>09-06</sub> , h <sub>ref</sub> , h <sub>o</sub> , φ, viz, T <sub>a,max</sub> , dhcl, T <sub>vgo</sub> , h <sub>vgo</sub> , T <sub>a,призем</sub> , T <sub>a,ур.моря</sub> , P <sub>ур.моря</sub> , T <sub>a,700-500</sub> , T <sub>a,500</sub> , T <sub>a,400</sub>	T <sub>107</sub> , T <sub>119</sub> , T <sub>107-119</sub> , T <sub>64-80</sub> , φ, T <sub>80-107</sub> , h <sub>ref</sub> , h <sub>o</sub> , T <sub>a,max</sub> , dhcl, T <sub>vgo</sub> , h <sub>vgo</sub> , T <sub>a,призем</sub> , T <sub>a,ур.моря</sub> , T <sub>п/п</sub> , P <sub>ур.моря</sub>

<i>выделяемые классы</i>	4 класса: «без снега», «снег» «вероятно снег», «облачно»	3 класса: «без снега», «снег», «вероятно снег»
<i>зона охвата</i>	Европейская территория России и Западная Сибирь (до 69°с.ш. и до 97,5°в.д.)	вся территория России и Арктика, включая Северный полюс
<i>карографические проекции выходных продуктов</i>	- поперечная азимутальная проекция виртуального спутника; - регулярная сетка $1,5' = 0,025^\circ$	- регулярная сетка $1,5' = 0,025^\circ$ ; - косая азимутальная стереографическая (~4 км)
<i>монтажи строятся по данным</i>	2 КА и 8 синоптических сроков	
<i>недостатки</i>	- в облачных пикселях нет данных о снеге; - ночью без класса «снег»; - снежный шлейф над тёплыми водоёмами классифицируется как «снег»	-
<i>POD<sub>снег+снег?</sub>, %</i>	96-97	90-95
<i>POD<sub>без снега</sub>, %</i>	34-49	56-59
<i>POO<sub>снег</sub>, %</i>	65-76	96-97
<i>POO<sub>без снега</sub>, %</i>	85-86	77-80
<i>HR, %</i>	77-86	85-87
<i>класс «вероятно снег»</i>	скорее «снег» (POD=75-78 %, POO=55-61 %)	равновероятно «снег» и «без снега» (POD=47-51 %, POO=61-66 %)
<i>авт. оценка точности</i>	удов./хор.	удов./хор.
<i>совпадение карт</i>	ноябрь-март 45-55 %, апрель-май 60-80 % и более	
<i>повторяемость грубых ошибок (противоположный класс) от площади сравнения</i>	в среднем 1,5 %: декабрь-март – не более 1 %, в остальное время 2-3 % (для отдельных дней до 4,5 %)	

### Список литературы

1. Волкова Е.В., Кухарский А.В., Дерюгина В.В., Невский А.А. Мониторинг снежного покрова по данным радиометра SEVIRI КА серии Meteosat // Электронный сборник материалов 22й Международной конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Москва: ИКИ РАН, 2024. С.240. doi 10.21046/22DZZconf-2024a. ISBN 978-5-00015-0067-2.
2. Дерюгина В.В., Симонов Ю.А., Леонтьева Е.А., Невский А.А.// Веб- ГИС-технологии обработки и анализа спутниковых данных и гидрологических измерений и для мониторинга и прогнозирования паводковой обстановки в бассейне р. Волги / Материалы сборника VI Международной научно-практической конференции: «Комплексные проблемы техносферной безопасности» в 3 ч. Воронеж, 2021. С. 80-92.