

**А.А. Солодовник, Б.М. Усеинов, М.В. Ланочкин, Б.М. Ибраев**

*Северо-Казахстанский Государственный университет им. М. Козыбаева, г. Петропавл*

*\*e-mail: buseinov@gmail.com*

## **РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ПОЛЕЙ СЕРЕБРИСТЫХ ОБЛАКОВ В СЕЗОНЫ 2017 – 2018 ГОДОВ**

**Аннотация.** С целью развития новых эффективных методов регистрации полей серебристых облаков выполнен анализ результатов панорамного мониторинга сумеречного сегмента, проведённого в летние сезоны 2017-2018 годов. В наблюдениях использовалась широкоугольная монохромная камера Agecont AV40185DN-HB, имеющая поле зрения до 180 градусов по азимуту. Показано, что применение этой камеры позволяет не только успешно фиксировать факт появления серебристых облаков, но и изучать их структуру и кинематику путём последующего анализа изображений. В частности, выявлено, что изменение общей азимутальной протяженности облачных полей на протяжении ночи определялось, главным образом, влиянием изменения условий их освещения Солнцем. Панорамный мониторинг позволил также обнаруживать редкие события, связанные с возникновением и быстрым развитием своеобразных элементов облачного поля. В частности, рассмотрен факт появления отдельной волокнообразной детали облачного поля в ночь с 3 на 4 июля 2018 года, появление и развитие которой оказалось связанным с эволюцией холодного тропосферного фронта над территорией Западно Сибирской низменности. Сделан вывод о том, что применение панорамного мониторинга сумеречного сегмента перспективно не только для совершенствования синоптических наблюдений серебристых облаков, но и для уточнения выводов о характере тропосферно – мезосферных связей.

**Ключевые слова:** мезосфера, серебристые облака, панорамный мониторинг, анализ изображений, фотометрия, метеорологические карты, тропосферно-мезосферные связи.

### **Введение**

Одной из актуальных задач изучения природы мезосферных серебристых облаков (МСО) является уточнение характера связи их возникновения с крупномасштабными тропосферными процессами. Перспективность и научная новизна такого подхода подтверждена в ряде работ выполненных в Центре Астрофизических Исследований Северо-Казахстанского университета (ЦАИ СКУ) [1-9] Основанием для получения научно значимых выводов в решении этой задачи должны быть результаты длительных наблюдений объекта исследований. Они могут быть получены как наземными средствами, и с применением космических аппаратов дистанционного зондирования атмосферы. В соответствии с выработанной в ЦАИ СКУ методикой, наиболее продуктивно сочетание этих подходов. Настоящая работа продолжает ранее проведенные исследования, имея оригинальное отличие от них; в ней ис-

пользованы данные новейшего подхода к получению информации о полях МСО с наземных пунктов – панорамный мониторинг [10].

### **Основная часть**

В сезоны видимости серебристых облаков 2017 и 2018 года наблюдения проводились из нескольких наземных пунктов на территории Северо-Казахстанской области. Из них центральным был пункт, расположенный на Обсерватории СКУ, где проводился мониторинг небесной сферы с использованием широкоугольной камеры Agecont AV40185DN-HB.

В 2017 году мониторинг МСО ежедневный проводился с 1 июня по 12 июля. В ходе наблюдений производились многочасовые видеозаписи сумеречного сегмента и находящихся в его пределах объектов, что определило высокую информативность данных. При этом серебристые облака были отмечены в 6 случаях. Разумеется, на

продуктивность наблюдений в значительной мере влияла погода. Наиболее яркие облака наблюдались в ночь с 19 на 20 июня. Пример изображения поля серебристых

облаков в эту дату на 23 часа 45 минут приведён на рисунке 1. Здесь красным выделены участки кадра, где облака впервые уверенно отмечены визуально.



Рисунок 1 – Вид поля серебристых облаков в ночь с 19 на 20 июня 2017 года. Север находится в центре изображения

Качество изображений позволяло не только выделять области сумеречного сегмента занятые полями серебристых обла-

ков, но и отождествлять детали его структуры в ходе общего анализа картины (рис. 2).



Рисунок 2 – Структурные элементы поля серебристых облаков в момент времени 23:40.

В летний сезон 2018 года панорамный мониторинг МСО проводился с 1 июня по 24 июля. Он дал более весомые результаты, чем предыдущий. В июне 2018 года серебристые облака уверенно наблюдались в 7 ночей. В июле из 15 ясных ночей серебристые облака были зарегистрированы в 5 случаях.

Динамику полей серебристых облаков довольно сложно отслеживать, но результат такого исследования ценен. Он позволяет ответить на вопрос о том отражают ли характеристики движения облачных образований движение воздушных масс в мезосфере, или же это движение связано с распространением гравитационных волн в стратосфере и мезосфере. Записи панорамного мониторинга свидетель-

ствуют о том, что в большинстве случаев поля МСО смещаются с востока на запад. Что определяет эту картину: струйные течения воздушных масс в мезосфере; условия освещения облачности Солнцем или образование новых облачных полей? Для ответа на этот вопрос полезно изучить характер изменения общей протяжённости облачного поля по азимуту.

Для определения этой величины был применён метод масштабирования изображения. С достаточной точностью его можно выполнить, принимая во внимание тот факт, угловая протяжённость изображения по азимуту равна 180 градусов. Тогда измерив линейную протяжённость изображения на экране монитора, мы определим масштаб картины в градусах на

миллиметр. Далее измеряя азимутальную протяжённость облачных полей на снимках можно находить их угловую протяжённость. Результаты измерений для трёх ясных ночей приведены в таблице 1. В первой колонке даны моменты измерения, во второй, третьей и четвёртой азимутальные протяжённости облачного поля для трёх наблюдательных ночей. Измерения проводились через каждые 10 минут.

Таблица 1. – Изменение протяжённости облачного поля по азимуту

Время	Ширина поля облаков(в градусах)			Средняя ширина поля
	19.06.17	19.06.18	05.07.18	
00:00	100	115	85	100
00:10	105	108	95	103
00:20	85	102	96	94
00:30	83	95	85	88
00:40	63	93	90	82
00:50	58	85	100	81
01:00	57	79	95	77
01:10	55	84	86	75
01:20	40	83	85	69
01:30	35	78	83	65
01:40	50	76	94	73
01:50	62	72	105	80
02:00	79	70	114	88
02:10	96	81	120	99
02:20	84	85	125	98
02:30	79	86	129	98

По данным таблицы 1 построены графики изменения азимутальной протяжённости облачного поля со временем (рис. 3-5). Во всех случаях заметно плавное уменьшение этой величины со временем, начиная с появления облаков и до истинной полуночи. После полуночи протяжённость облачного поля всякий раз возрастала. На графиках показаны также аппроксимации полиномом второй степени изменения исследуемой характеристики. Хорошее совпадение кривых с данными измерений очевидно. Это соответствует выводу о том, что величина азимутальной

протяжённости облачности определялась, скорее всего, положением Солнца под горизонтом. То есть быстрого образования или исчезновения серебристых облаков во время наблюдений не происходило.

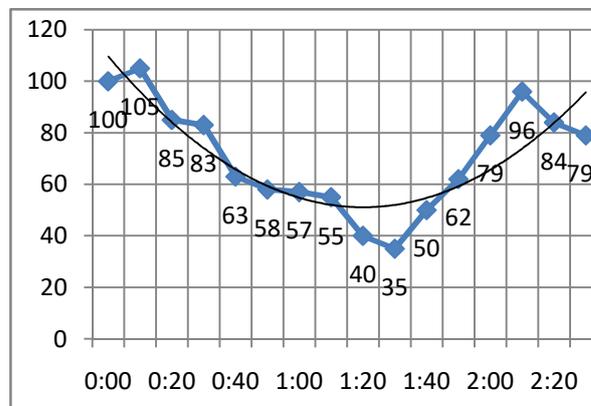


Рисунок 3 – График изменения азимутальной протяжённости облачного поля в градусах (вертикальная ось) от времени в минутах (горизонтальная ось) с полиномиальной аппроксимацией в ночь с 19 на 20 июня 2017 года.

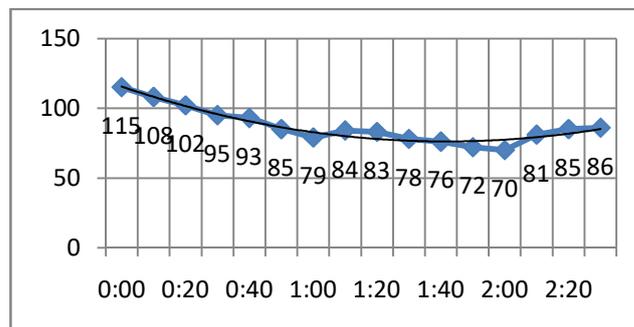


Рисунок 4 – График изменения азимутальной протяжённости облачного поля в градусах от времени в минутах с полиномиальной аппроксимацией в ночь с 19 на 20 июня 2018 года.

Развитие протяженности поля облачности 19 июня 2018 года дало несимметричную картину по причине того, что длительность наблюдений после полуночи была явно сокращена. Но параболический ход азимутальной протяженности облачного поля здесь соблюдается.

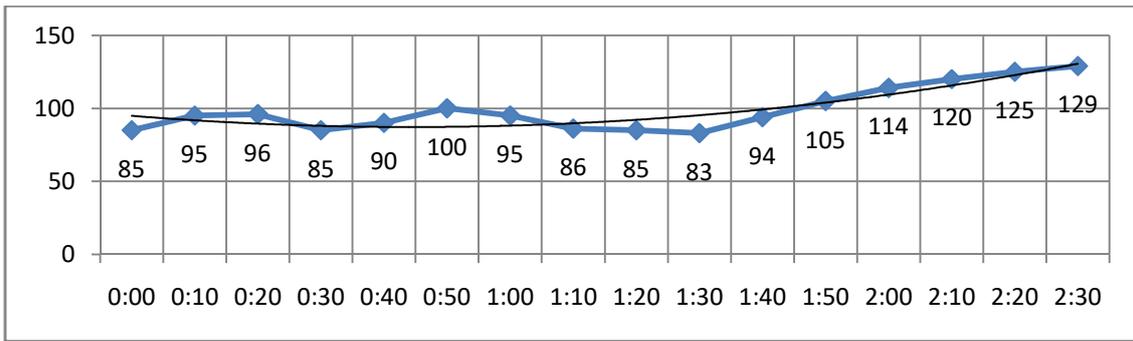


Рисунок 5 – График изменения азимутальной протяжённости облачного поля в градусах от времени в минутах с полиномиальной аппроксимацией за 05 июля 2018 года.

Вид изменения азимутальной протяжённости облачного поля 5 июля 2018 года отличается от предыдущих наличием волнообразных отклонений протяженности облачного поля от

аппроксимационной кривой с периодом около получаса. Причиной их появления могли быть явления, в том числе тропосферные процессы, повлиявшие на развитие МСО, наблюдавшихся в эту дату.

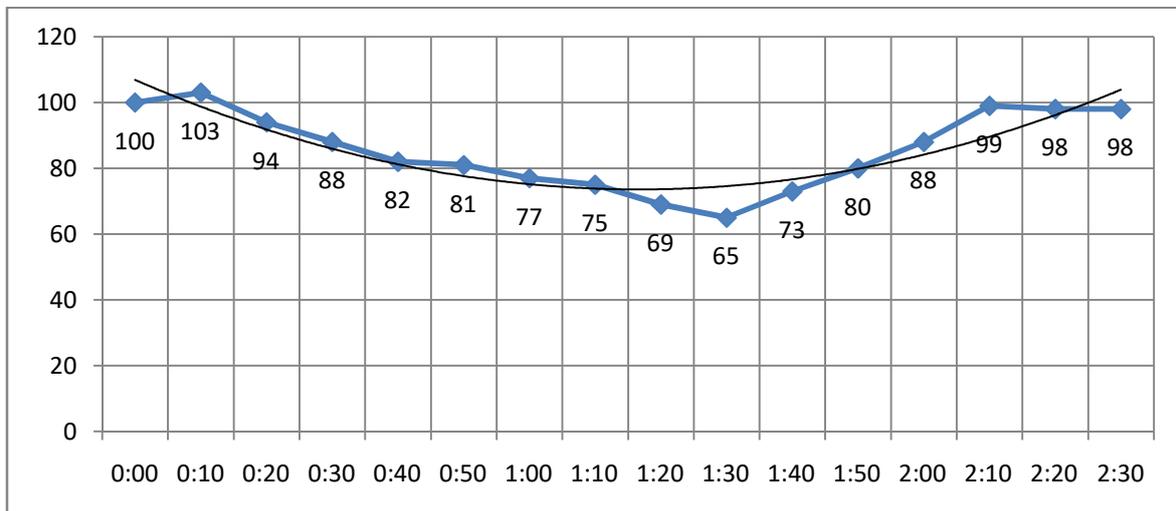


Рисунок 6 – График среднего изменения азимутальной протяжённости облачного поля в градусах от времени в минутах с полиномиальной аппроксимацией

Последнее соображение выглядит особенно привлекательным после сравнения графика на рисунке 5 с результатом усреднения данных за три даты (рис. 6). Точность параболической аппроксимации усреднённых данных изменения азимутальной протяжённости поля МСО со временем в пределах ночи заметно выше. Следовательно, предположение об определяющем влиянии солнечной освещённости на изменение азимутальной протяжённости облачного поля близко к реальности.

Данные панорамного мониторинга МСО позволяют детализировать выводы о

связи развития мезосферной облачности с тропосферными процессами. Для этого выполнялась стандартная процедура сравнения результатов мониторинга с анализом метеорологических карт [8]. Оказалось, что для сезонов 2017-2018 годов всем эпизодам появления МСО всякий раз соответствовали благоприятные метеорологические условия – то есть или движение холодных фронтов и циклонов или развитие окклюзий над контролируемой областью пространства.

Выдающимся примером такой связи стали события, отмеченные в ночь с 3 на 4 июля 2018 года, когда наблюдалась ано-

мальная структура облачного поля (рис. 7). В эту ночь было зарегистрировано возникновение и быстрое развитие редчайшей детали – узкой протяженной полосы мезосферной облачности. Такие образования вызывают острый интерес исследователей верхней атмосферы Земли, но попадают в поле зрения камер далеко не каждый год.

В начале периода видимости МСО камера зафиксировала поле серебристых облаков, протянувшихся с востока на запад. Затем от облачного поля как бы отделилось протяженное лентообразное волокно, которое быстро перемещалось на юго-юго-восток и вскоре достигло высоты более 25 градусов.



Рисунок 7 – Фрагмент из видеозаписи на ночь с 3 на 4 июля 2018 года

### Обсуждение

Анализ панорамных изображений полей МСО позволяет продолжить исследование физической связи мезосферных и тропосферных процессов на новом уровне.

Для примера рассмотрим карты метеорологических полей, предоставленные Северо-Казахстанским филиалом Казгидромета для ночи с 3 на 4 июля 2018 года (рис. 8).

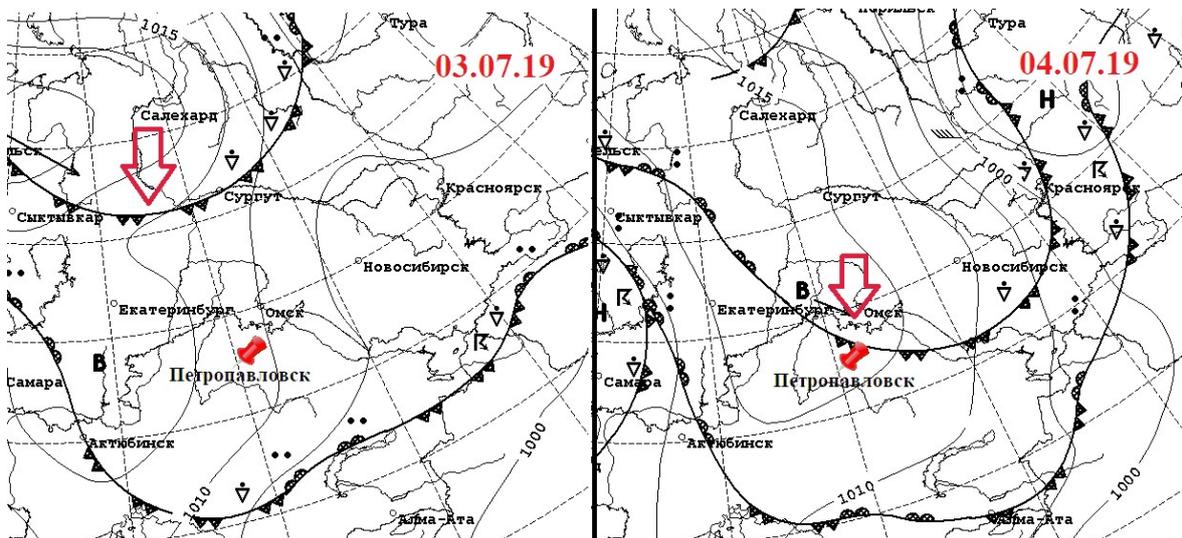


Рисунок 8 – К анализу условий возникновения серебристых облаков в ночь с 03 на 04 июля 2018 года.

Хорошо видно, что холодный фронт, возникший над севером Западно-Сибирской низменности 3 июля, за сутки переместился более чем на 1000 км к юго-юго-востоку. Над его тыловой частью в

мезосфере, как это нередко бывает, образовалось поле серебристых облаков, зафиксированных камерой. В северо-западной своей части холодный фронт смыкался с тёплым, образуя область окк-

люзии. Бурный характер движения воздушных масс в ней, скорее всего, и породил такую систему гравитационных волн, которая привела к образованию обособленного облачного волокна в мезосфере.

Применение панорамного мониторинга, таким образом, позволяет получать данные, обладающие гораздо большей информативностью, сравнительно с аналогичными полученными с помощью одиночной камерой. Практическая ценность метода состоит не только в получении объективных данных о состоянии серебристых облаков, но и в доказательстве связи их образования с тропосферными процессами.

### **Заключение**

Проведён панорамный мониторинг полей серебристых облаков в сезоны 2017-2018 годов с последующим анализом его результатов. Показано, что панорамные камеры с высокой чувствительностью позволяют регистрировать поля серебристых облаков с протяжённостью по азимуту до 180 градусов на протяжении всей ночи. Получены зависимости азимутальной протяженности облачных полей от времени, которые показали, что наблюдавшиеся поля МСО меняли свою протяженность, прежде всего, в зависимости от глубины погружения Солнца под горизонт.

Показано, что актуальной проблемой в изучении серебристых облаков является развитие научно обоснованных представлений о механизме их образования и эволюции. Одной из наиболее перспективных идей в области решения этой проблемы является гипотеза о влиянии на состояние мезосферы масштабных тропосферных процессов. Одним из путей её проверки является анализ результатов наземного панорамного мониторинга полей серебристых облаков и обработки спутниковых данных с последующим сопоставлением результатов с данными метеорологических карт.

Выявлен редкий случай появления линейной формы серебристых облаков. Изучение феномена обнаружило его несомненную физическую связь с развитием

холодного фронта, реализуемую посредством порождаемых движением фронта гравитационных волн.

### **Литература**

1. Солодовник А.А., Лазарев С.В. Метеорологические явления в тропосфере и проблема происхождения серебристых облаков.- Петропавловск, 2007, ЦНТИ. – С.17.
2. Солодовник А.А., Кудабаяева Д.А., Сартин С.А., Бельченко В.Н. Метеорологические процессы в тропосфере Земли и происхождение серебристых облаков // Вестник Актыбинского государственного педагогического института, – 2010. №1, – С. 109-114.
3. P. Dalin, S. Kirkwood, A. Mostrom, K. Stebel, P. Hoffmann, and W. Singer // A case study of gravity waves in noctilucent clouds. *Annales Geophysicae* 2004. 06.
4. Журавлев П.Л. Исследование влияния геофизических факторов на образование полей мезосферных серебристых облаков. Магистерская диссертация на соискание академической степени, Петропавловск, СКГУ, 2014. – 69 с.
5. Солодовник А.А. Атмосферное электричество и происхождение серебристых облаков // *Земля и Вселенная*, № 6, 2007.
6. Солодовник А.А., Кудабаяева Д.А., Крючков В.Н., Леонченко А.С. Серебристые облака: проблема образования и вопрос о дефинициях. – *Известия национальной Академии наук Республики Казахстан. Серия физ. мат.* № 4 2011. – С. 105 – 110.
7. Солодовник А.А., Кудабаяева Д.А., Крючков В.Н. Сезонные и межсезонные вариации площади глобального поля серебристых облаков.- *Известия национальной Академии наук Республики Казахстан. Серия физ. мат.* № 4 2013. – С. 60 – 64.
8. Солодовник А.А., Журавлев П.Л., Баукенов Б.М. Изучение влияния тропосферных процессов на образование полей серебристых облаков по итогам наблюдений 2013 года//*Актуальные вопросы современной науки. Сборник научных трудов*, № 36, Новосибирск, 2014. – С. 89 – 101.
9. Солодовник А.А., Журавлев П.Л., Баукенов Б.М. Опыт прогнозирования появления МСО на основе анализа метеорологи-

ческих данных // Материалы международной научно-практической конференции «Достижения и перспективы исследований небесных тел и Земли: фундаментальные, прикладные и научно-методические аспекты» 10.04.2014 г. – Петропавловск: СКГУ им. М. Козыбаева. – С. 62-68.

10. Солодовник А.А., Уазиров А.Н., Билялов А.К. Опыт панорамного мониторинга мезосферных серебристых облаков. - The

Scientific Heritage № 24 (2018) P.1 (Budapest, Hungary). – с. 48-52.

Сайт спутника AIM, раздел содержит фотографии северного и южного полушарий <http://lasp.colorado.edu/aim/browse-images.php?dataset=pmc> (актуальна 01.05.2019)

*Принято в печать 06.12.2019*

**А.А. Солодовник, Б.М. Усеинов, М.В. Ланочкин, Б.М. Ибраев**

*Северо-Казахстанский Государственный университет им. М. Козыбаева, г. Петропавл*

*\*e-mail: buseinov@gmail.com*

## **РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ПОЛЕЙ СЕРЕБРИСТЫХ ОБЛАКОВ В СЕЗОНЫ 2017 – 2018 ГОДОВ**

**Аннотация.** С целью развития новых эффективных методов регистрации полей серебристых облаков выполнен анализ результатов панорамного мониторинга сумеречного сегмента, проведённого в летние сезоны 2017-2018 годов. В наблюдениях использовалась широкоугольная монохромная камера Arecont AV40185DN-HB, имеющая поле зрения до 180 градусов по азимуту. Показано, что применение этой камеры позволяет не только успешно фиксировать факт появления серебристых облаков, но и изучать их структуру и кинематику путём последующего анализа изображений. В частности, выявлено, что изменение общей азимутальной протяженности облачных полей на протяжении ночи определялось, главным образом, влиянием изменения условий их освещения Солнцем. Панорамный мониторинг позволил также обнаруживать редкие события, связанные с возникновением и быстрым развитием своеобразных элементов облачного поля. В частности, рассмотрен факт появления отдельной волокнообразной детали облачного поля в ночь с 3 на 4 июля 2018 года, появление и развитие которой оказалось связанным с эволюцией холодного тропосферного фронта над территорией Западно Сибирской низменности. Сделан вывод о том, что применение панорамного мониторинга сумеречного сегмента перспективно не только для совершенствования синоптических наблюдений серебристых облаков, но и для уточнения выводов о характере тропосферно – мезосферных связей.

**Ключевые слова:** мезосфера, серебристые облака, панорамный мониторинг, анализ изображений, фотометрия, метеорологические карты, тропосферно-мезосферные связи.

**A.A. Solodovnik, B.M. Useinov, M.V Lanochkin., B.M. Ibraev**

*Северо-Казахстанский Государственный университет им. М. Козыбаева, г. Петропавл*

*\*e-mail: buseinov@gmail.com*

## **RESULTS OF MONITORING FIELDS OF NLC IN SEASONS 2017 - 2018**

**Abstract.** In order to develop new effective methods for recording fields of silvery clouds, the results of panoramic monitoring of the twilight segment conducted in the summer seasons of 2017-2018 were analyzed. The observations used a wide-angle monochrome camera Arecont AV40185DN-HB, which has a field of view up to 180 degrees azimuth. It is shown that the use of

this camera allows not only to successfully record the appearance of silvery clouds, but also to study their structure and kinematics by subsequent image analysis. In particular, it was found that the change in the total azimuthal extent of cloud fields during the night was determined mainly by the influence of changes in the conditions of their illumination by the Sun. Panoramic monitoring also allowed to detect rare events associated with the emergence and rapid development of peculiar elements of the cloud field. In particular, the fact of the appearance of a separate fiber-like detail of the cloud field on the night of 3 to 4 July 2018, the appearance and development of which was associated with the evolution of the cold tropospheric front over the territory of the West Siberian lowland, is considered. It is concluded that the use of panoramic monitoring of the twilight segment is promising not only to improve SYNOPTIC observations of silvery clouds, but also to clarify the conclusions about the nature of tropospheric-mesospheric connections.

**Keywords:** mesosphere, silver clouds, panoramic monitoring, image analysis, photometry, meteorological maps, tropospheric-mesospheric communications.

**А.А. Солодовник, Б.М. Усеинов, М.В. Ланочкин, Б.М. Ибраев**

*М. Қозыбаев атындағы Солтүстік Қазақстан мемлекеттік университеті, Петропавл*

### **2017 - 2018 ЖЫЛДАРДАҒЫ КҮМІС БҰЛТ ӨРІСТЕРІН БАҚЫЛАУ НӘТИЖЕЛЕРІ**

**Аннотация.** Күміс бұлт кен орындарын тіркеудің жаңа тиімді әдістерін әзірлеу мақсатында 2017-2018 жж. Жазғы маусымдарда ымырт сегментіне панорамалық бақылау нәтижелерін талдау жасалды. Байқау кезінде Arecont AV40185DN-NB кең бұрышты монохромды камера пайдаланылды, көру өрісі азимутта 180 градус. Бұл камераны пайдалану күміс бұлттардың пайда болу фактісін сәтті тіркеуге ғана емес, сонымен қатар кейінгі кескінді талдау арқылы олардың құрылымы мен кинематикасын зерттеуге мүмкіндік беретіндігі көрсетілген. Атап айтқанда, бұлтты өрістердің жалпы азимуталды мөлшерінің бір тәулік ішінде өзгеруі көбінесе олардың күн сәулесі жағдайындағы өзгерістердің әсерінен анықталады. Панорамалық бақылау сонымен қатар бұлт өрісінің ерекше элементтерінің пайда болуымен және тез дамуына байланысты сирек кездесетін оқиғаларды анықтауға мүмкіндік береді. Атап айтқанда, пайда болуы және дамуы Батыс Сібір ойпаты аумағындағы суық тропосфералық фронттың эволюциясымен байланысты 2018 жылдың 3-4 шілдесіне қараған түні бұлт өрісінің жеке талшық тәрізді бөлшегінің пайда болу фактісі қарастырылды. Ымырт сегментінің панорамалық мониторингін қолдану күміс бұлттардың синоптикалық бақылауын жақсартуға ғана емес, сонымен қатар тропосфералық - мезосфералық байланыстардың табиғаты туралы қорытындыларды нақтылауға мүмкіндік береді деген тұжырымға келді.

**Түйін сөздер:** мезосфера, күміс бұлттар, панорамалық бақылау, кескінді талдау, фотометрия, метеорологиялық карталар, тропосфералық-мезосфералық коммуникациялар.