

### РАЗДЕЛ 3. ГЕОЭКОЛОГИЯ

УДК 551.52.911

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА НА АБШЕРОНСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

*Гарибов Я. А.<sup>1</sup>, Мамедова Ш. И.<sup>2</sup>, Исмайлова Н. С.<sup>3</sup>*

<sup>1,2,3</sup> *Бакинский Государственный Университет, Баку, Азербайджан*  
*E-mail: <sup>2</sup>sheker.mammadova@mail.ru*

Представлены результаты исследования космических и аэрокосмических снимков, текстуры слоёв дыма и аэрозоля, сформировавшихся на различной высоте, сделанные с помощью аппарата IKOS-25. Выявлены особенности распространения загрязнителей при неблагоприятных погодных условиях и вероятность наибольшего накопления загрязнений в регионах. Благодаря созданию цифровой информационной базе загрязнителей предложена систематизированная и научно обоснованная система безопасности.

Описаны выявленные в атмосфере над городами Баку и Сумгаит небольшие по размеру загрязненные и не стабильные по структуре локальные островки. Выяснено, что северо-восточный ветер является основным фактором распространения загрязнения в Баку-Сумгаитской агломерации. Определено, что загрязнения дымом и аэрозолями обычно дешифрируются полосаобразной и прерывисто-слоистой текстурой, темной и волокнистой структурой.

**Ключевые слова:** аэрокосмические снимки, дешифрирование, спектрограмма, аэрозоль, ГИС, синоптика, загрязнитель.

#### ВВЕДЕНИЕ

Исследование атмосферы крупных городов аэрокосмическим методом, как особая исследовательская область, началось систематически развиваться с 80–90-х годов XX века. В работах А. А. Горчиева, Т. Д. Агаева (1985), Ш. А. Ахмедова, Н. А. Ахмедова, Н. А. Агаева (1995), А. А. Байрамова, Н. К. Гасымова (2002), А. А. Гасанова (2009), Т. Д. Агаев, Л. А. Асадов, А. А. Гулиева (2004), Т. Д. Агаева (2012), В. А. Эфендиева, Ш. И. Мамедовой (2012) и других специалистов изучены различные формы и структуры облачности, возникшие в Южнокавказском регионе, а также связанные с ними погодные условия. Были проделаны работы по предотвращению различных загрязнений воздушного пространства Азербайджана с использованием дистанционных методов, в особенности аэрозольных загрязнителей с использованием методов космических индикаций [1]. Важным достижением стала возможность обнаружить концентрацию загрязнений и дать ей количественную оценку с помощью анализа интенсивности тона и четкости изображений.

А. А. Матвеев, Ю. П. Переведенцев, В. Д. Тудрий [2] изучив результаты и перспективы использования космических снимков в исследованиях окружающей среды, провели мониторинг загрязнения и его последствий для биосферы.

С. М. Марголина, Г. М. Похлин [3] с помощью данных, полученных со спутника Landsat-7, провели наблюдения за появлением в локальных областях «островов

тепла» в октябре-мае в условиях долгосрочных температурных инверсий. Исследования были проведены в городе Милане и его окрестностях, в долине реки По, отличающимися высокой плотностью населения.

В данных исследованиях с использованием современных научно-методических работ нами были выявлены территории с высокой вероятностью загрязнения и распространения загрязненного воздуха при неблагоприятных метеорологических условиях на Абшеронском полуострове. Исследования проведены с помощью фотографий, сделанных в различные периоды с искусственного спутника "Meteor" Landsat-7 [4].

На Абшеронском полуострове размещены крупные промышленные предприятия, которые являются многочисленными источниками загрязнения атмосферы. Деятельность этих предприятий способствует непрерывному загрязнению атмосферы, усложняют экологические условия региона. Поэтому изучение загрязнения атмосферы, особенно загрязнителей с примесью газа имеет большое научно-практическое значение. С целью изучения в атмосфере Абшеронского полуострова аэрозоля и газовых примесей был задействован инфракрасный спектрометр (IKOS-25) установленный на самолете АН-30 [5].

Благодаря многочисленным аэрокосмическим снимкам, было установлено, что загрязнения дымом и аэрозолями обычно дешифрируются полособразной и прерывисто слойной текстурой, темной и волокнистой структурой.

Установлено, что малое количество примеси газа, имеющейся в атмосфере непосредственно связано с загрязнением атмосферы крупными предприятиями, что в свою очередь является очень актуальным. Определяя данную зависимость аэроснимками на основе прогнозирования и диапазонов измерения, а также определение полос поглощения имеет большое научное значение.

Данная проблема до сих пор исследована не основательно. В частности, не исследованы снимки очагов загрязнения и особенности их сближения, которые были сделаны с различной высоты, методом дистанционного зондирования.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

В районе исследования измерения проводились дистанционным зондированием на высотах от 90–6000 метров. При этом атмосферные слои по условному давлению в 50 паскалей были поделены на отличающиеся друг от друга слои. Измерения были проведены на границе всех слоев, кроме слоя близкого к земной коре. Ссылаясь на исследования других ученых, вычислена средняя температура воздуха и количество водяных паров каждого слоя [6]. Используя определенные атмосферные модели возможно определение средней температуры и количества накопившейся воды в каждом слое.

Определено, что предел изменения водяного пара, скопившегося на высоте 2100 метров, составляет 1,1–3 см. Расчёты были произведены повторно на абсолютных высотах 1200, 2100, 3000, 5000 и 6000 метров. С целью упрощения принципа обработки данных, полученных нами с каждой планки высоты, они записаны по порядку в соответствии с абсолютной высотой. При устойчивой работе спектрометра и средней скорости самолета 250 км/ч, для записи результата одного измерения

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА НА АБШЕРОНСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

---

необходимо 3 минуты, а для записи одной спектрограммы требуется 10 секунд [7].

При проведении исследований в атмосфере над городами Баку и Сумгаит были выявлены загрязненные и не стабильные по структуре небольшие по размеру локальные островки. При выполнении расчетов, сгустившиеся слои облаков верхние границы, которых составляет 200 метров, оцениваются на уровне 3 баллов. Летные маршруты над полуостровом с учётом местных ветров совершались в направлении с запада на восток.

Исследования загрязнений атмосферы в больших городах методом зондирования на расстоянии играет важную роль при оценке экологической ситуации городов. Данные исследования также оказывают поддержку при получении информации о загрязнении дымом атмосферы и облачного слоя, метеорологических элементах и тепловом режиме системы Земля — атмосфера. Северо-восточный ветер способствует распространению загрязненных ингредиентов в Баку-Сумгаитской агломерации. Также способствует распространению на других участках полуострова, дыма и аэрозоля смешанных с туманом и сформировавшихся под влиянием южного и юго-западного ветров.

Данная проблема до сих пор исследована не основательно. В частности, не исследованы снимки очагов загрязнения и особенности их сближения, которые были сделаны с различной высоты, методом дистанционного зондирования.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

С помощью дешифрирования исследовать аэрокосмические снимки газов и других выбросов, накопившихся над Абшеронским полуостровом и смешанных с туманом в виде густого смога, промышленных туманов, полособразных твердых соединений, слоистых загрязнителей, отражающихся на различных спектрограммах по-разному.

Анализ спектрограмм — это определение средней оценки спектрограммы, и отличной квадратичной оценки соответствующих количеству спектров в атмосфере. Роль северного, северо-восточного ветров в распространении загрязнителей в Баку-Сумгаитской агломерации является одной из предстоящих целей. С помощью спектрограммного анализа аэрокосмических снимков установлено, что в воздушном пространстве Абшеронского полуострова преобладает метан и углекислый газ.

Установлено, что основной причиной выбросов углекислого газа в нижние слои атмосферы является использование горючего на тепловых электростанциях, в отопительных системах, а также выхлопные газы автомобильного транспорта.

На основе спектрограмм, проведенных с помощью самолета в зависимости от высоты подготовлен профиль распространения метана и углекислого газа. Анализ данного профиля показывает, что с высотой концентрация метана постепенно уменьшается, а концентрация углекислого газа растёт до высоты 2800 метров, но затем начинает резко снижаться.

На основе спектрометрических аэроснимков установлено, что между количеством водяных паров в атмосфере и концентрацией углекислого газа существует определенная связь. Так, с ростом количества водяных паров снижается коэффициент поглощения прозрачности атмосферы, однако в каждой оценке

водяного пара между коэффициентом испарения и длиной волны существует общая закономерность (таблица 1).

Таблица 1  
Средне интегральная оценка углекислого газа в воздушном пространстве  
Абшеронского полуострова

№	Высота полёта, м	Средняя оценка спектрограммы, CO <sub>2</sub>	Среднеквадратичная оценка разницы	Количество спектров
1	1200	0,063	0,019	6
2	2100	0,059	0,017	6
3	3000	0,034	0,016	4
4	4000	0,016	0,016	5
5	5000	0,050	0,014	6
6	6000	0,052	-	5

В зависимости от влияния этих факторов в спектральных расчетах по высоте получаются различные результаты. Для определения этих различий в расчетах длины различных волн спектра водяных паров и углекислого газа на Абшеронском полуострове, как на уровне мирового океана, так и на различных высотах произведено вычисление коэффициентов выпуска в атмосферу.

Спектральным анализом космических снимков выявлено, что аэрозольное загрязнение в виде дыма промышленного происхождения, обычно имеет полосатое строение, а текстура бывает темной и имеет волокнистый вид. Туманы, сформировавшиеся над промышленными городами, на космических снимках в основном имеют светлые тона и имеют высокое альbedo. Эти туманы с волокнистой структурой наиболее характерны для промышленной полосы, тянущейся вдоль побережья в городе Сумгаит. На фотоснимках они обладают светлыми тонами и формируются за счет инверсионного слоя, и высокой влажности воздуха ( $\geq 90\%$ ).

С ростом концентрации вредных выбросов в атмосферу видимость ухудшается. Причиной этому является превращение CO<sub>2</sub> в атмосфере в аэрозоль. Иногда скорость данного превращения доходит до нескольких процентов в час. Это связано с тем, что сернистый газ в капельках тумана растворяется на много быстрее других газов. Обычно, некоторые элементы в капельках тумана обладающие свойствами катализатора делают окисление наиболее интенсивным. Имеющиеся в составе тумана аммиак и аэрозоли, которые состоят из частиц металла (железо, медь и др.) окисляются наиболее быстро. При этом растет масса вредных примесей, так как из 1 г сернистого газа образуется 1,5 г серной кислоты [8].

В видимой части спектра обычно на космических снимках естественные туманы изображаются полностью белого цвета. Минимальные температурные различия дает возможность отличить туман от других предметов. Обычно, зимние туманы возникают при адвекции, когда поступающий с севера холодный воздух встречается с относительно теплым воздухом над поверхностью Каспийского моря. В этот период года на космических снимках туман просвечивается на фоне смешанных газов, так как туман закрывает контуры поверхности земли. А слабый туман проявляется при

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА НА АБШЕРОНСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

отсутствии снега и облаков.

На крупномасштабных космических снимках Абшеронского полуострова (спектральный интервал 0,5–0,7 мкм) над поверхностью воды и суши проявляется слабый туман. Такой туман наблюдается в диапазоне 0,7–1,1 мкм (рис.1). Так как при сильной инверсии в отличие от излучения на поверхности земли, в верхнем слое тумана излучение происходит при наиболее высокой температуре.



Рис.1. Площадь распространения облаков дыма ( $\text{CO}_2$ ) над территорией Абшеронского полуострова при опасной силе северного ветра.

Поэтому на снимке с диапазоном 0,7–1,1 мкм туман, как темная безоблачная территория над городом Баку и прилегающих территориях, в большинстве случаев проявляется в виде черного тумана. На таких же космических снимках над городом Сумгаит и южнее наблюдается облако дыма. Тон изображения этого облака, а также площадь распространения плотности сернистого газа путём вычисления позволяет говорить о том, что город Сумгаит и ее окрестности подвергаются загрязнению промышленными отходами.

На космическом снимке над территорией города Сумгаит и к северу от него, а также в западной части Абшерона было обнаружено облако дыма (рис.1). В некоторых местах распространения данного облака его ширина достигает более 30 км. По фотосъемке видно, что основная масса загрязнителей расположена на небольшой высоте (около 6 м.). Результаты, полученные с помощью анализа космических снимков, показывают, что загрязнения в виде дыма наблюдаются и над городом Баку. Здесь цвет тона более светлый, в отличие от полосы влияния вредных веществ на промышленных территориях города Сумгаита. Сравнение снимков облаков дыма и площади распространения плотности газа  $\text{CO}_2$  показывает, что при опасном ветре ( $U_m = 1,7$  м/сек) на территории города Баку плотность  $\text{CO}_2$  в отличие от пострадавших от вредных отходов районов города Сумгаита, отличается наименьшим значением.

На среднемасштабных космических снимках, наземных метеорологических станциях не всегда удается обнаружить загрязнение атмосферы дымом. Их,

возможно, обнаружить, только благодаря многозональным, крупномасштабным космическим снимкам, которые обладают высокой точностью.

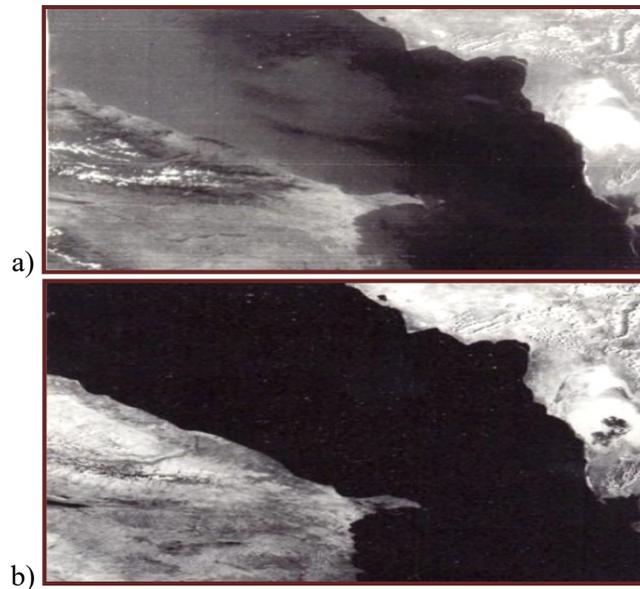


Рис. 2. Фрагмент космического снимка Абшеронского полуострова. Метеор: а) 0,5–0,7 мкм, б) 0,7–1,1 мкм

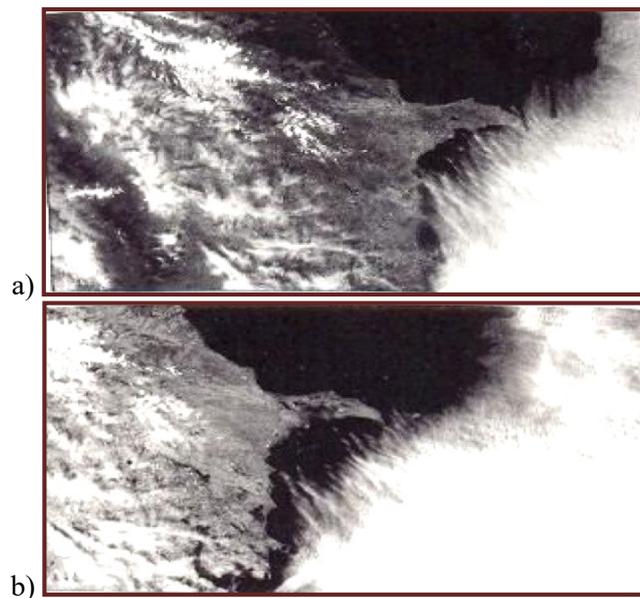


Рис. 3. Фрагмент космического снимка Абшеронского полуострова. Метеор а) 0,5–0,7 мкм, б) 0,7–1,1 мкм

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА НА АБШЕРОНСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

В лучшем случае, возможно, определение тона снимка на территории распространения промышленного дыма, изображенного на космическом снимке в спектральном диапазоне с точностью 0,7–1,1 мкм (рис. 2).

По рисункам 2 и 3 сложно определить точный контур городов Баку и Сумгаита. Причиной являются высокие температурные инверсии и остров тепла. Устойчивая температурная стратификация в регионе способствует загрязнению промышленным дымом, а также образованию дыма под инверсионным слоем на поверхности земли. Верхняя граница образовавшегося дыма способствует повышению температуры на поверхности земли. Поэтому на инфракрасных спектральных снимках промышленный дым бывает темнее туманов безоблачных фаз.

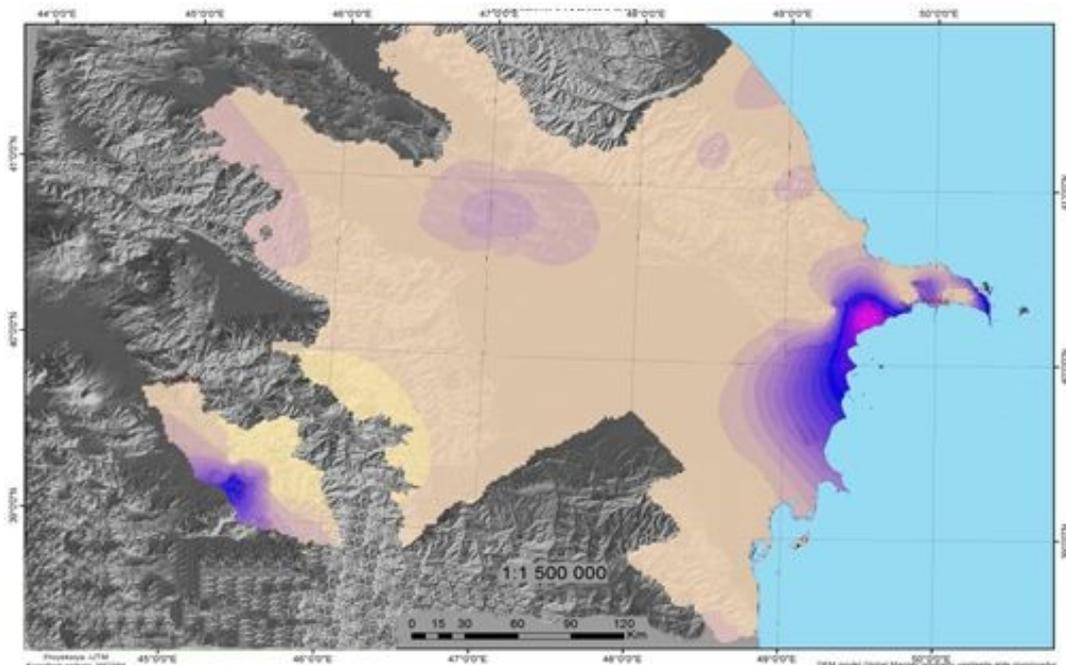


Рис. 4. Распространение загрязнителей, выброшенных стационарными источниками в городах Азербайджана

Из рисунка 4 видно, что в Баку-Сумгаитской агломерации северные и северо-восточные ветры играют большую роль в распространении загрязнителей, годовая повторяемость, которых составляет 36%. В городе Гянджа повторяемость западных ветров составляет 30%, а восточных ветров 24%. В центральных частях городов Мингячевир и Ширван наблюдается небольшое загрязнение, а на окраинах наблюдается относительный рост.

В связи с этим была дана оценка силе и направлению ветра. Здесь повторяемость северных ветров составляет 10%, а при неспокойных погодных условиях 34%. В этот период также имеются благоприятные условия для распространения загрязнений.

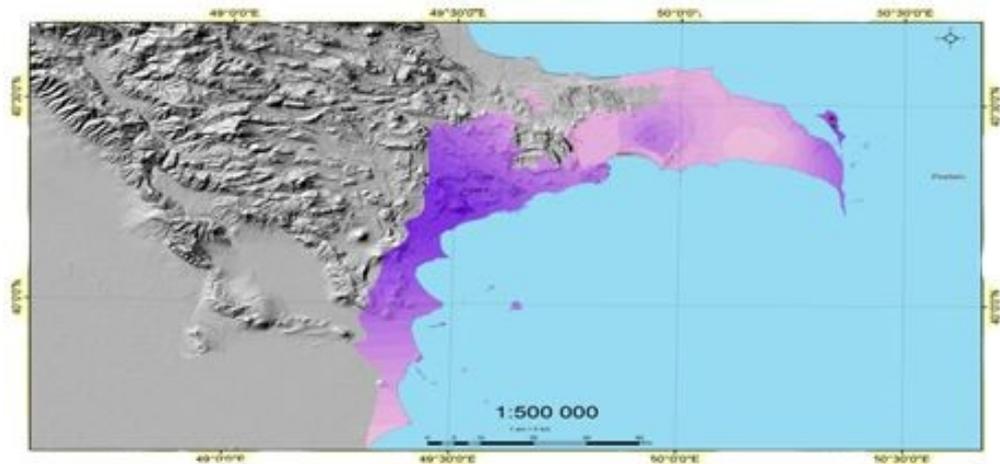


Рис. 5. Распространение загрязнителей, выброшенных стационарными источниками, по городу Баку

Для больших городов Азербайджана по анализам аэрокосмических снимков на основе взаимосвязи между показателями загрязнений и метеорологическими факторами была составлена карта ареалов загрязнения. Из-за недостатка данных, с помощью ГИС технологий удалось составить карту ареалов загрязнения лишь по 5 городам (Баку, Сумгаит, Гянджа, Мингячевир и Ширван). Установлено, что в этих городах загрязнение уменьшается от центра города к окраинам.

При применении ГИС технологий и аэрокосмических методов исследования, для определения ареала распространения отходов в атмосферу в больших городах промышленными источниками в первую очередь необходимо подготовить цифровые статистические модели относительно загрязнения атмосферы.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные нами системные исследования показывают, что использование космических информаций даёт возможность определить общие закономерности уровня загрязнений городского воздуха, распространение в воздушном пространстве загрязняющих веществ, а также взаимосвязь между плотностью загрязняющих веществ и метеорологическими условиями.

1. На основе спектрометрических аэроснимком установлено, что между количеством водяных паров в атмосфере и концентрацией углекислого газа существует определенная связь.

2. Определено, что основной причиной появления углекислого газа в низких слоях атмосферы выше нормы является закрытое использование горючего на тепловых электростанциях, отопительных системах, а также выхлопы автомобилей.

3. Здесь цвет тона более светлый, в отличие от полосы влияния вредных веществ на промышленных территориях города Сумгаита. Сравнение снимков облаков дыма

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ВОЗДУХА НА АБШЕРОНСКОМ ПОЛУОСТРОВЕ АЭРОКОСМИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ

и площади распространения плотности газа  $\text{CO}_2$  показывает, что при опасном ветре ( $U_m = 1,7$  м/сек) на территории города Баку, плотность  $\text{CO}_2$ , в отличие от пострадавших от вредных отходов районов города Сумгаита, обладает наименьшим значением.

Полученные результаты имеют большое практическое значение. Эти результаты могут быть использованы при организации контроля загрязнения атмосферы, осуществлении мероприятий градостроительства, планировании взаимного размещения промышленных комплексов и жилых массивов, осуществлении мероприятий при охране воздушного пространства от загрязнений.

### Список литературы

1. Агаев Т. Д. Совершенствование методов обработки данных наземной и аэрокосмической информации, с целью исследования и прогнозирования антропогенного загрязнения атмосферы городов (например городов Абшеронского полуострова). Док. ... дис. Баку, 2011, 324 с.
2. Матвеев Л. Т., Переведенцев Ю. П., Тудрий В. Д. Основы экологии атмосферы. Казан, Изд. Казанского университета, 2002. 250 с.
3. Морголин С. М., Похлин Г. М. О комплексной оценке степени загрязнения водоемов, Тр. ИПГ, 1977. с. 99–100.
4. Пашаев А. М., Гулиев Г., Сафаров С. Г. Физические основы атмосферных процессов. Баку, 2007. 415 с.
5. Азизов Б.М. Некоторые аспекты интерпретации тепловых инфракрасных снимков // Доклад НАНА. 2000, №1–3. том L, VI том, с.110–114.
6. Горчиев А. А., Агаев Т. Д. Некоторые результаты исследования инверсионных слоев в дни с облачностью в нижней тропосфере над Кавказско–Каспийским регионом на основе аэроклиматической информации / Мат-лы съезда географического общества Азербайджанской ССР. Баку, Елм, 1985, с. 203–204.
7. Байрамов Ш. Р., Идрисова Р. В., Гашимова Р. А. и др. Изучение изменений количества углекислого газа в атмосферном воздухе города Баку // Материалы научно-методической конференции. Баку, 2007, с. 88–93.
8. Азизов В. М. Метод дистанционного обнаружения вредных газов в воздушном пространстве на полуострове Абшерон // Новости Бакинского государственного университета, серия Естественные науки, № 3. Баку, 2002, с. 232–236.

## AEROSPACE STUDY OF ATMOSPHERIC POLLUTION ON THE ASHBERON PENINSULA

*Qaribov Y. A.<sup>1</sup>, Mammadova Sh. I.<sup>2</sup>, Ismayilova N. S.<sup>3</sup>*

*<sup>1,2,3</sup> Baku State University, Baku, Azerbaijan*

*E-mail: <sup>2</sup>sheker.mammadova@mail.ru*

Large industrial enterprises are located on the Absheron Peninsula, which are numerous sources of pollution in our country. The activity of these enterprises contributes to the continuous pollution of the atmosphere and the region, complicates environmental conditions. Therefore, the study of atmospheric pollution, especially pollutants with an admixture of gas, is of great importance. The presented work contains space and aerospace photographs, studies of the texture of smoke and aerosol layers formed at different heights, which were made using the IKOS-25 device installed on the AN-30 aircraft. The features

of the distribution of pollutants under adverse weather conditions and the likelihood of the greatest accumulation of pollution in the regions are revealed. On large-scale satellite images of the Absheron Peninsula, especially on images in the range of 0.7-1.1 microns, dirty fogs in the city of Baku and adjacent villages are depicted as dark clouds, and in the city of Sumgayit and adjacent industrial zones as thick-layered fibrous zones. After the creation of a digital information database of pollutants, a systematized and scientifically based security system has been proposed.

Identified in the atmosphere above the cities of Baku and Sumgayit are not large in size, polluted, unstable in structure. The northeast wind is the main factor in the spread of pollution in the Baku-Sumgayit agglomeration. It has been determined that smoke and aerosol pollution is usually deciphered by a stripe-like and discontinuous layered texture, dark and fibrous structure.

The tone color is lighter, in contrast to the zone of influence of harmful substances in the industrial areas of the city of Sumgayit. Comparison of images of smoke clouds and the area of distribution of CO<sub>2</sub> gas density shows that with a dangerous wind ( $U_m = 1.7$  m/sec) in the city of Baku, the CO<sub>2</sub> density, in contrast to the areas of Sumgayit city affected by hazardous waste, has the lowest value.

The results obtained are of great practical importance. These results can be used in the organization of air pollution control, the implementation of urban development measures, the planning of the mutual placement of industrial complexes and residential areas, and the implementation of measures to protect the airspace from pollution.

**Keywords:** aerospace images, decryption, spectrogram, aerosol, GIS, forecasters, pollutant.

#### References

1. Agaev T. D. Sovershenstvovanie metodov obrabotki dannyh nazemnoj i aerokosmicheskoy informacii, s cel'yu issledovaniya i prognozirovaniya antropogennogo zagryazneniya atmosfery gorodov (naprimere gorodov Absheronskogo poluosrova). Dok. ... dis. Baku, 2011, 324 p. (In Azerbaijan).
2. Matveev L. T., Perevedencev YU. P., Tudrij V. D. Osnovy ekologii atmosfery. Kazan, Izd. Kazanskogo universiteta, 2002, 250 p. (In Russian).
3. Morgolin S. M., Pohlin G. M. O kompleksnoj ocenke stepeni zagryazneniya vodoemov, Tr. IPG, 1977. p. 99–100. (In Russian).
4. Pashaev A. M., Guliev G., Safarov S. G. Fizicheskie osnovy atmosferyh processov. Baku, 2007, p. 415. (In Azerbaijan).
5. Azizov B.M. Nekotorye aspekty interpretacii teplovyh infrakrasnyh snimkov // Doklad NANA. 2000, №1-3, tom L, VI tom, p. 110–114. (In Russian).
6. Gorchiev A. A., Agaev T. D. Nekotorye rezultaty issledovaniya inversionnyh sloev v dni s oblachnost'yu v nizhnej tropofery nad Kavkazsko-Kaspijskim regionom na osnove aeroklimaticheskoy informacii / Mat-ly s'ezda geograficheskogo obshchestva Azerbajdzhanskoj SSR. Baku, Elm, 1985, p. 203–204. (In Azerbaijan).
7. Bajramov SH. R., Idrisova R. V., Gashimova R. A. i dr. Izuchenie izmenenij kolichestva uglekislogo gaza v atmosfernom vozduhe goroda Baku // Materialy nauchno-metodicheskoy konferencii. Baku, 2007, p. 88–93. (In Azerbaijan).
8. Azizov B. M. Metod distancionnogo obnaruzheniya vrednyh gazov v vozdušnom prostranstve na poluostrove Absheron // Novosti Bakinskogo gosudarstvennogo universiteta, seriya Estestvennye nauki, № 3. Baku, 2002, p. 232–236. (In Azerbaijan).

*Поступила в редакцию 08.01.2022 г.*