

## Оценка накопления, пространственного распределения и перемещения диоксидов азота и серы в атмосфере бассейна реки Дебед по материалам дистанционного зондирования Земли и возможные риски для здоровья населения

С.А. Станкевич<sup>1</sup>, М.А. Налбандян<sup>2</sup>, Д.М. Андреасян<sup>3</sup>, О.В. Титаренко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Научный центр аэрокосмических исследований земли ИГН НАН Украины, Киев, Украина  
E-mails: st@casre.kiev.ua; olgatitarenko@casre.kiev.ua

<sup>2</sup> Институт геологических наук НАН Республики Армения, Ереван, Армения  
E-mail: marinen3@yahoo.com

<sup>3</sup> Национальный институт здравоохранения имени С. Авдалбекяна, Ереван, Армения  
E-mail: dianaandreasyan@gmail.com

Статья посвящена исследованию содержания диоксидов азота и серы в нижних слоях атмосферы. Методом дистанционного зондирования проведено картирование пространственного распределения и перемещения диоксидов в атмосфере бассейна реки Дебед, где развита горнорудная промышленность. Выявлено загрязнение приземных слоев атмосферы диоксидами серы и определены тенденции и направления переноса загрязненных воздушных масс на территории севера Армении. Согласно оценке полученных данных, средние значения концентрации диоксида серы в приземном слое воздуха в некоторых участках превышают предельно допустимую концентрацию в 10–11 раз и достигают 0,57 мг/м<sup>3</sup>. Наблюдается тенденция роста концентраций в западном направлении от г. Алаверди, т. е. западнее основных источников загрязнения, в качестве которых выступают Алавердийский медеплавильный завод и Ахталинская горно-обогатительная фабрика. Данная закономерность обусловлена систематическим смещением воздушных масс на запад и юго-запад, вызванным климатическими и орографическими особенностями региона. Выявленные тенденции повышают риск загрязнения почв, поверхностных вод и растительности Лорийского и Ширакского марзов, расположенных в данной части Армении. С целью изучения косвенного влияния основных атмосферных загрязнителей – диоксидов азота и серы – на развитие онкологических заболеваний проанализированы показатели заболеваемости по регионам Армении за 2007–2014 годы. Анализ имеющихся данных позволил выделить регионы с наиболее высокой заболеваемостью злокачественными новообразованиями и, в частности, заболеваемостью раком лёгких, коими являются Лорийский, Ширакский и Сюникский марзы, в двух из которых (Лорийский и Ширакский) в результате данного исследования зарегистрированы наиболее высокие уровни концентрации диоксидов серы в воздухе.

**Ключевые слова:** дистанционное зондирование атмосферы, диоксид азота, диоксид серы, индустриальное загрязнение атмосферы, временные ряды наблюдений, экологический мониторинг, заболеваемость населения

Одобрена к печати: 17.04.2017

DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-2-240-249

### Постановка задачи

Атмосфера выступает важнейшей составляющей геоэкологического баланса территории, поэтому её наблюдениям, в том числе дистанционным, уделяется значительное внимание. Для измерения параметров земной атмосферы используются спутниковые системы дистанционного зондирования, оснащённые специальными сенсорами оптического или микроволнового диапазонов. В настоящее время постоянно функционируют несколько спутниковых систем дистанционного зондирования атмосферы: европейские Envisat и MetOp, американские EOS и NPOESS, японская GOSAT и другие. Эти системы оснащаются атмосферными спектрометрами ультрафиолетового, видимого и инфракрасного диапазонов, а некоторые – ещё и атмосферными спектрометриями микроволнового диапазона (The Remote..., 2011).

Основными загрязнителями атмосферы урбанизированных и индустриальных территорий выступают угарный газ, оксиды азота, серы и брома, метан, аммиак, летучие хло-

риды, различные аэрозоли. Также выбрасываются значительные объёмы углекислого газа. Посредством выпадающих осадков эти загрязнения может привести к ухудшению качества составляющих геоэкологической системы территории – почвы, воды, растений.

Взвешенные вещества (пыль, зола, сажа) в зависимости от состава могут способствовать развитию различных заболеваний, в частности, болезней дыхательной системы и злокачественных новообразований. При проникновении взвешенных частиц в органы дыхания происходит нарушение системы дыхания и кровообращения. Вдыхаемые частицы влияют как непосредственно на органы дыхания, так и на другие органы за счет токсического воздействия входящих в состав частиц компонентов. Опасно сочетание высоких концентраций взвешенных веществ и диоксида серы. Люди с хроническими нарушениями в лёгких, с болезнями сердечно-сосудистой системы, с астмой, частыми простудными заболеваниями, пожилые и дети особенно чувствительны к влиянию мелких взвешенных частиц.

Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) установила, что при средней за час концентрации диоксида азота, равной  $400 \text{ мкг/м}^3$ , наблюдаются болезненные симптомы у больных астмой и других групп людей с повышенной чувствительностью. При средней за год концентрации, равной  $30 \text{ мкг/м}^3$ , увеличивается число детей с учащенным дыханием, кашлем и больных бронхитом. Диоксид азота снижает сопротивление организма к заболеваниям, уменьшает гемоглобин в крови, раздражает дыхательные пути. При длительном вдыхании этого газа происходит кислородное голодание тканей, особенно у детей. Это вызывает болезни органов дыхания, кровообращения и злокачественные новообразования, приводит к обострению различных лёгочных и хронических заболеваний. В Армении установлены предельные допустимые концентрации (ПДК)  $0,05 \text{ мг/м}^3$  для диоксида серы и  $0,04 \text{ мг/м}^3$  – для диоксида азота.

Отмечено, что заболевания дыхательных путей, например, бронхиты, учащаются при повышении уровня оксидов серы в воздухе. Воздействие диоксида серы в концентрации выше предельно допустимой может вызвать нарушение функций дыхания и существенное увеличение различных болезней дыхательных путей. Особенно высокая чувствительность к действию диоксида серы наблюдается у людей с хроническими нарушениями органов дыхания, с астмой. При совместных концентрациях диоксида серы и взвешенных частиц (в виде сажи) в среднем за сутки выше  $200 \text{ мкг/м}^3$  у взрослых и детей наблюдаются небольшие изменения в деятельности лёгких.

Цели исследования:

1. Анализ временных рядов пространственных распределений основных атмосферных загрязнителей – диоксидов азота и серы – в пределах водосборного бассейна реки Дебед. Временные ряды атмосферных загрязнителей формировались на основе спутниковых измерений, приведенных к приземному слою атмосферы с опорой на заверочные данные стационарных постов контроля атмосферы.

2. Определение тенденций и направлений перемещения загрязнений в приземных слоях атмосферы территории исследования.

3. Предварительное изучение возможной связи загрязнённости воздуха диоксидами азота и серы и распространённости злокачественных новообразований среди населения.

### **Общая физико-географическая характеристика района исследований**

Главный водный объект исследования района исследования – это река Дебед, верховье которой начинается с абсолютной высоты 870 м слиянием рек Памбак и Дзорагет и которая втекает в реку Храми на территории Грузии. Река Дебед течет через горные ущелья Сомхети и Гугарац. До Айрума река течет по глубокому (300–500 м) ущелью, затем – по долине.

Притоки реки Дебед характеризуются быстрым течением и резкими падениями русла. Долина реки Дебед узкой и глубокой формы расширяется в районе Алаверди. Приток Лалвар проходит через Алаверди.

Режим реки характеризуется весенними и осенними полноводными периодами (120–130 дней). Повышение уровня воды начинается весной с апреля, достигает своего максимума в мае и продолжается до первой половины июня. Источники питания реки – грунтовые воды, талые воды и дожди.

Бассейн реки Дебед включает крутые горные хребты и ущелья, возвышенность Акори и Санаин, а также низменности горной цепи Лалвар. Абсолютная высота бассейна реки составляет 720–920 м. Склоны Хатиндах на правом берегу реки покрыты широколиственными лесами, и леса на левом берегу не такие густые, расстилаются только по направлению северо-западных горных хребтов горной местности Лалвар.

Область богата медными вулканическими породами, серой, гипсом и каменными запасами. Месторождение медной руды в Алаверди систематически изучалось с 1929 года. Это – гидротермальное месторождение небольшой глубины. Месторождение состоит из вулканических пород базальта и туфа и слоев песчаника. Здесь же расположены Алавердский медеплавильный завод и горно-обогатительный завод Ахталы.

Климат Алаверди жаркий с умеренными зимами и постоянным снежным покровом. В среднем зима начинается во второй декаде декабря и заканчивается в начале марта. Погода зимой нестабильная. Морозы так же часты, как и солнечные теплые дни. Весна продолжительная, с повышенной влажностью. Весенние поздние морозы заканчиваются во второй половине апреля. Лето жаркое и влажное. Относительная влажность около 60%. Облачные дни составляют большую часть года.

Осень умеренная, с более влажной второй половиной сезона. Первые ранние морозы начинаются в конце октября, в начале ноября. Период без морозов составляет 200–230 дней. Самая высокая температура регистрируется в июле – +30–35°C, и самая низкая в январе и феврале – -17°C–18°C. Средние годовые осадки на высоте 721 м составляют 551 мм.

Ландшафт Алаверди, особенно ущелье реки Дебед и дорога Ереван – Алаверди – Тбилиси, – это перегруженное шоссе, которое создает неблагоприятные условия для окру-

жающей среды из-за скопления выбросов. Две мониторинговые станции наблюдений качества воздуха города используются для контролирования четырех основных загрязнителей: пыль, двуокись серы, оксид углерода, смеси окислов азота (Environmental..., 2016).

В конце 1980-х максимальное ежегодное количество выбросов в атмосферу в Алаверди было более чем 41 тысяч тонн или 26% от всех выбросов постоянных источников в городе. В 2007 было 13 постоянных источников загрязнения и общее количество выбросов от источников атмосферных загрязнений было 25,2 тысяч тонн, которые непосредственно попадали в окружающую среду. 99,4% выбросов в атмосферу – это ангидрид серы (25021,4 тонн); содержание оксида углерода составляло 0,1% (27,4 тонн) (Nazaryan, 2009).

Изучение состояния окружающей среды в Алаверди показало, что постоянным источником загрязнения воздуха является завод по переработке медной руды, не имеющий современных фильтров для полной очистки воздуха. Но следовало бы отметить, что в последние годы объем выбросов в окружающую среду происходит после частичной фильтрации через новую вытяжную трубу.

Из *табл. 1* следует, что преобладающим направлением ветра в регионе является западное, что может повлиять на характер перемещения загрязненного диоксидом серы воздуха в данном направлении.

Таблица 1. Средняя граница распространности двуокиси серы, в метрах (объем загрязненности – 434,42 г/сек или 15597,6 т/год) (Nazaryan, 2009)

<i>Превышения ПДК</i>	<i>Расчитанная плотность в пределах границ зон, мг/м<sup>3</sup></i>	<i>Отсутствие ветра (полностью спокойно)</i>	<i>Преимущественное направление ветров, V= 5 м/с</i>			
			<i>восток</i>	<i>юго-восток</i>	<i>юго-запад</i>	<i>запад</i>
1-ая зона: на расстоянии 90 м от источника – 80,6 на расстоянии 180 м – 30,5 на границе – 1,2 раза	0,6	386	454	363	386	499
2-ая зона – до 0,44 раз	0,22	613	840	704	749	885
3-ая зона – до 0,3 раз	0,15	885	1226	931	1067	1294
4-ая зона – до 0,2 раз	0,1	1175	1859	1680	1703	1930

### **Исходные данные и их обработка**

Пространственные распределения атмосферных загрязнителей в пределах территории исследований строились по данным спутникового спектрометра EOS/OMI. Спектрометр EOS/OMI работает в спектральном диапазоне 0,27–0,5 мкм со спектральным разрешением 0,45–1,0 нм и обеспечивает измерения состава атмосферы в широкой полосе 2600 км с пространственным разрешением 13×24 км (Levelt et al., 2006).

В качестве исходных данных использовались информационные продукты EOS/OMI уровня обработки 3, предоставляемые Goddard Earth Sciences Data and Information Services

Center (GES DISC) NASA за десять лет – с 2004 по 2014 годы: содержание тропосферного  $\text{NO}_2$  в молекулах на  $\text{см}^2$  ([http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/Aura/data-holdings/OMI/omno2e\\_v003.shtml](http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/Aura/data-holdings/OMI/omno2e_v003.shtml)) и приземного  $\text{SO}_2$  в единицах Добсона ([http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/Aura/data-holdings/OMI/omso2e\\_v003.shtml](http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/Aura/data-holdings/OMI/omso2e_v003.shtml)), доступные через поисковую подсистему Mirador (<http://mirador.gsfc.nasa.gov/>) GES DISC (Ahmad et al., 2003). Вырезка территориальных сегментов, выбор требуемых слоёв данных и ежемесячное осреднение значений производились при помощи web-сервиса Giovanni (<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/giovanni/>) GES DISC. В результате было получено 35 сегментов атмосферных измерений (ежемесячно с октября 2010 г. по декабрь 2014 г.) на регулярной сетке (рис. 1) для каждого информационного продукта EOS/OMI.



Рис. 1. Сетка спутниковых атмосферных измерений в пределах водосборного бассейна реки Дебед

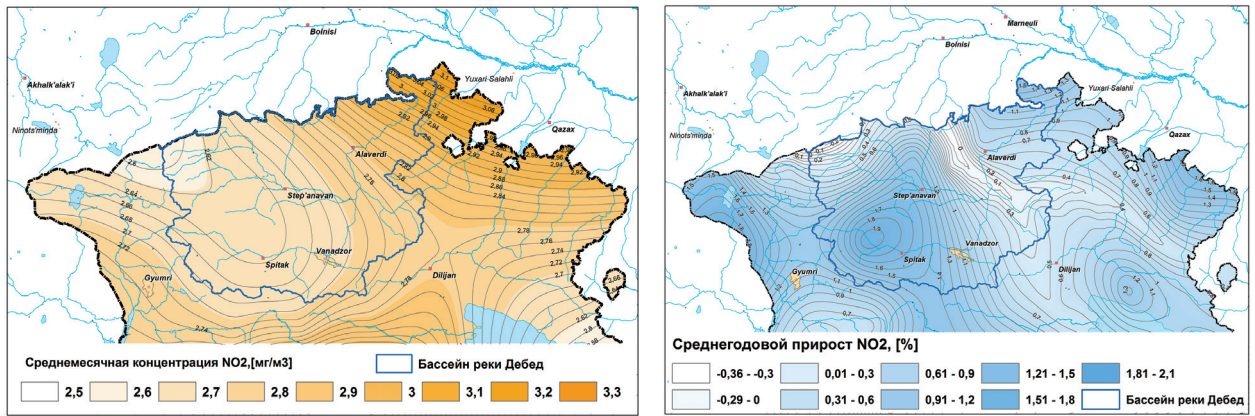
Наземные заверочные измерения приземного слоя атмосферы выполнялись в двух пунктах вблизи города Алаверди ежемесячно на протяжении 2004–2008 годов.

Для приведения спутниковых данных к приземному слою атмосферы использовались среднемесячные значения концентраций диоксидов азота и серы в  $\text{мг}/\text{м}^3$ . Значения спутниковых измерений на регулярной сетке интерполировались методом обратных квадратов в точки наземных измерений, и по этим данным строилась нелинейная робастная регрессия (Rousseeuw, Leroy, 2003). Затем спутниковые измерения на регулярной сетке по полученным уравнениям регрессии пересчитывались на значения концентраций в приземном слое атмосферы для всего района исследований.

Полученные таким образом карты среднемесячных концентраций диоксидов азота и серы позволили провести анализ временных рядов наблюдений. В результате анализа временных рядов определялось среднее за период наблюдений значение и среднегодовой

прирост. Результирующие карты распределений указанных величин приведены на *рис. 2* и *рис. 3*.

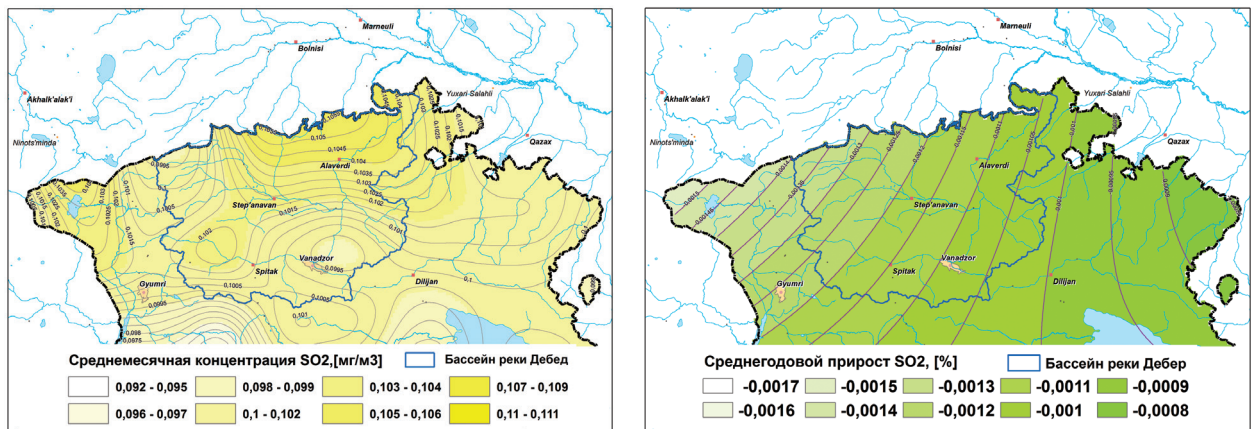
Наблюдаются области долговременной повышенной концентрации диоксидов азота и серы в северной части территории исследования с трендом повышения концентрации к северо-западу.



а)

б)

*Рис. 2. Пространственное распределение характеристик динамики содержания диоксида азота в приземном слое атмосферы в пределах водосборного бассейна реки Дебед в 2004–2014 годах: а) – среднее значение концентрации (мг/м<sup>3</sup>), б) – среднегодовой прирост концентрации (%)*



а)

б)

*Рис. 3. Пространственное распределение характеристик динамики содержания диоксида серы в приземном слое атмосферы в пределах водосборного бассейна реки Дебед в 2004–2014 годах: а) – среднее значение концентрации (мг/м<sup>3</sup>), б) – среднегодовой прирост концентрации (%)*

### Анализ полученных результатов

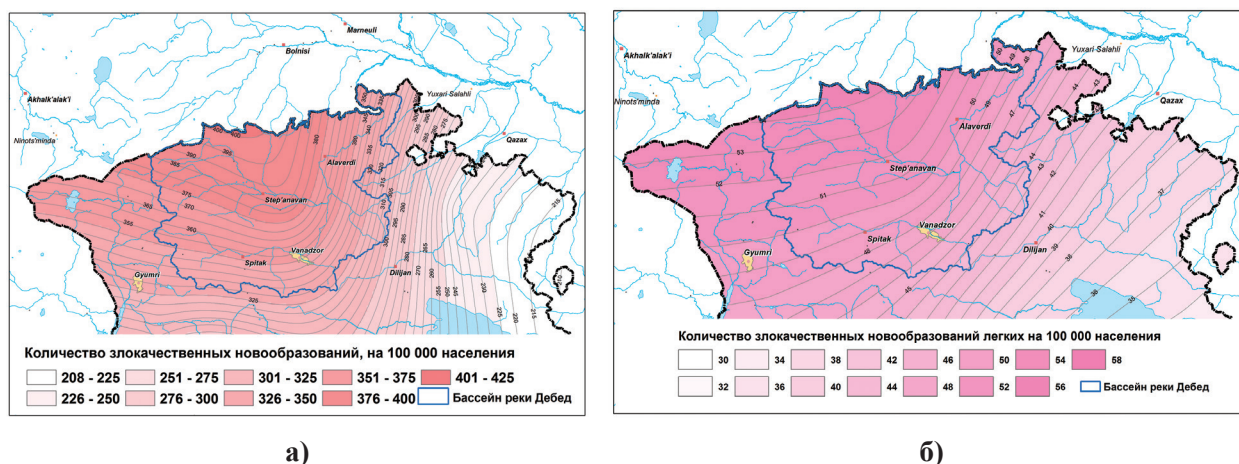
Территория исследований располагается в пределах водосборного бассейна реки Дебед, занимающего большую часть Лорийского и часть Тавушского марза (региона), включающих, в частности, территории городов Степанаван, Ванадзор, Спитак и Алаверди.

Анализ полученных карт распределений параметров временных рядов концентраций диоксида азота (*рис. 2*) и диоксида серы (*рис. 3*) в приземном слое атмосферы над территорией исследования позволяет регистрировать относительно низкие концентрации диок-

сида азота и высокие содержания диоксида серы, превышающие предельно допустимую концентрацию. Выявленные повышенные содержания диоксида серы в воздухе могут вызвать загрязнение почв, поверхностных вод, растений, а также быть причиной возрастания риска заболеваемости населения.

Анализ карт пространственных распределений динамики диоксида серы в воздухе позволил прийти к ряду выводов. Из анализа полученных оценок следует, что средние значения концентрации диоксида серы в приземном слое воздуха в некоторых участках превышают предельно допустимую концентрацию в 10–11 раз и достигают 0,57 мг/м<sup>3</sup>. Наблюдается тенденция роста концентраций преимущественно в западном направлении от г. Алаверди, т. е. западнее и юго-западнее основных источников загрязнения, в качестве которых выступают Алавердийский медеплавильный завод и Ахталинская горно-обогатительная фабрика. Данная закономерность обусловлена систематическим смещением воздушных масс на запад, вызванным климатическими и орографическими особенностями региона. Наблюдаемая картина говорит об опасности загрязнения территорий, расположенных в бассейне реки Дебед и западнее городов Степанаван и Спитак, и, согласно анализу карты *рис. 3б*, в данном направлении возрастает риск загрязнения почв, поверхностных вод и растительности территорий Лорийского и Ширакского марзов. Следует особо отметить, что в пределах этих марзов располагается Ширакская равнина, территории которой активно используются для выращивания сельскохозяйственных культур. Тем самым возрастает риск загрязнения основных пищевых продуктов населения.

С целью изучения косвенного влияния основных атмосферных загрязнителей – диоксидов азота и серы – на развитие онкологических заболеваний и, в частности, рака лёгких изучены показатели заболеваемости по регионам за 2007–2014 годы согласно данным Информационно-аналитического центра Министерства здравоохранения (ИАЦ МЗ) Армении (Qushkyan et al., 2007; Andreasyan et al., 2009, 2012, 2013, 2014).



*Рис. 4. Распространенность онкологических заболеваний населения территории исследования в 2007–2014 годах: а) – злокачественных новообразований всех видов, б) – злокачественных новообразований лёгких*

Анализ этих показателей свидетельствует, что наиболее высокая заболеваемость злокачественными новообразованиями и, в частности, заболеваемость раком лёгких, зарегистрирована в Лорийском, Ширакском и Сюникском марзах, где как раз и зарегистрированы наиболее высокие уровни концентрации диоксидов серы (рис. 4).

Следует отметить неплохую пространственную корреляцию (Jerrett et al., 2003) между онкологической заболеваемостью и концентрациями диоксида серы в воздухе, которые во взаимодействии с органическими загрязнителями имеют канцерогенные свойства (Raulf-Heimsoth et al., 2010; Shah, Balkhair, 2011). При этом пространственные тренды прироста заболеваемости лучше согласуются с трендами прироста концентрации последнего.

### Заключение

Таким образом, по результатам проведенных исследований можно сделать общий вывод о том, что эксплуатация горнорудных предприятий в пределах водосборного бассейна реки Дебед вызывает загрязнение нижних слоёв тропосферы и приземных слоёв воздуха территорий, расположенных западнее основных источников загрязнения – предприятий горнорудной и обрабатывающей – и охватывающих большую часть Лорийского и Ширакского марзов, что может способствовать развитию злокачественных новообразований у населения этих регионов.

В дальнейшем планируется продолжить более детальные исследования и выполнить количественное статистическое оценивание возможной связи и степени воздействия загрязнённого диоксидом серы воздуха на заболеваемость злокачественными новообразованиями.

### Литература

1. Ahmad S.P., Levelt P.F., Bhartia P.K., Hilsenrath E., Leppelmeier G.W., Johnson J.E. Atmospheric products from the Ozone Monitoring Instrument (OMI) // Proceedings of SPIE. 2003. Vol. 5151. P. 619–630.
2. Andreasyan D., Davidyants V., Manukyan S., Badalyan A., Kalikyan Z., Khangel'dyan S. Health System Performance Assessment, Armenia 2009 National Report. Yerevan: National Institute of Health after S. Avdalbekyan, 2009. 177 p.
3. Andreasyan D., Manukyan S., Bazarchyan A., Muradyan G., Potosyan A. Health System Performance Assessment, Armenia 2014 National Report. Yerevan: National Institute of Health after S. Avdalbekyan, 2014. 103 p.
4. Andreasyan D., Manukyan S., Kyurumyan A., Davidyants V., Khangel'dyan S., Kalikyan Z., Hakobyan Z. Health System Performance Assessment, Armenia 2012 National Report. Yerevan: National Institute of Health after S. Avdalbekyan, 2012. 149 p.
5. Andreasyan D., Manukyan S., Tsaturyan S., Gharakhanyan N., Potosyan A., Bazarchyan A., Zelveyan P. Health System Performance Assessment, Armenia 2013 National Report. Yerevan: National Institute of Health after S. Avdalbekyan, 2013. 108 p.
6. Environmental Statistics of Armenia for 2012–2015 and Time-Series of Indicators for 2007–2015. Yerevan: National Statistical Service of the Republic of Armenia, 2016 (на армянском).
7. Jerrett M., Burnett R.T., Goldberg M.S., Sears M., Krewski D., Catalan R., Kanaroglou P., Giovis C., Finkelstein N. Spatial analysis for environmental health research: concepts, methods, and examples // Journal of Toxicology and Environmental Health. 2003. Vol. 66. Part A. No. 16–19. P. 1783–1810.
8. Levelt P.F., van den Oord G.H.J., Dobber M.R., Mälkki A., Visser H., de Vries J., Stammes P., Lundell J.O.V., Saari H. The Ozone Monitoring Instrument // IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing. 2006. Vol. 4. No. 5. P. 1093–1101.
9. Nazaryan G. Geo Alaverdi. Environment and Urban Development. Yerevan: Asoghik, 2009. 74 p.
10. Oushkyan H., Khachatryan S., Dumanyan G., Davidyants V., Andreasyan D., Badalyan A., Khangel'dyan S., Kalikyan Z., Manukyan S. Health System Performance Assessment, Armenia 2007 National Report. Yerevan: National Institute of Health after S. Avdalbekyan, 2007. 46 p.



11. Raulf-Heimsoth M., Hoffmeyer F., van Thriel C., Blaszkewicz M., Bünger J., Brüning T. Assessment of low dose effects of acute sulphur dioxide exposure on the airways using non-invasive methods // Archives of Toxicology. 2010. Vol. 84. No. 2. P. 121–127.
12. Rousseeuw P.J., Leroy A.M. Robust Regression and Outlier Detection. Hoboken: John Wiley, 2003. 360 p.
13. Shah P.S., Balkhair T. Air pollution and birth outcomes: A systematic review // Environment International. 2011. Vol. 37. No. 2. P. 498–516.
14. The Remote Sensing of Tropospheric Composition from Space / J.P. Burrows, U. Platt, P. Borrell (Eds). Berlin: Springer-Verlag, 2011. 552 p.

## **Nitrogen and sulphur dioxide accumulation, spatial distribution and transportation in the atmosphere of Debed River basin and correlated public health risks analysis using satellite measurements**

**S.A. Stankevich<sup>1</sup>, M.A. Nalbandyan<sup>2</sup>, D.M. Andreasyan<sup>3</sup>, O.V. Titarenko<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Scientific Centre for Aerospace Research of the Earth NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine  
E-mails: st@casre.kiev.ua; olgatitarenko@casre.kiev.ua*

<sup>2</sup>*Institute of Geological Sciences NAS of Republic of Armenia, Yerevan, Republic of Armenia  
E-mail: marinen3@yahoo.com*

<sup>3</sup>*S. Avdalbekyan National Institute of Health, Yerevan, Republic of Armenia  
E-mail: dianaandreasyan@gmail.com*

The paper is devoted to the exploration of nitrogen and sulphur dioxides content inside the lower atmosphere. The spatial distribution and transportation of such dioxides was mapped by remote sensing methods in the atmosphere of the Debed River basin where the mining industry is located. Contamination of the atmosphere by sulphur dioxide was detected as well as spatial distributions and migration trends of polluted air masses were extracted within the northern part of Armenia. According to estimates obtained, average concentrations of sulphur dioxide in the near-ground air within some sites exceed 10–11 times maximum permissible concentration and reached 0.57 mg/m<sup>3</sup>. There is a trend of pollutants concentration increase to the west of Alaverdi town, i.e. of major sources of contamination which are the Alaverdi copper smeltery and Akhtalinsk ore mining and processing factory. This pattern occurs due to systematic migration of air masses westward and south-westward, caused by climate and orographic properties of the region. The detected trends increase the risk of contamination of soils, surface water and vegetation in Lori and Shirak Marzes located in this part of Armenia. In order to study the indirect impact of major atmospheric pollutants – nitrogen dioxide and sulfur dioxide – on cancer incidence statistics, population disease rates were analyzed in regions of Armenia for 2007–2014. Analysis of available data allowed to identify the regions with the highest incidence rates of malignant neoplasms and, in particular, lung cancer. These are Lori, Shirak and Syunik Marzes. As a result of the current research, the highest concentrations of sulphur dioxide in the air were registered in Lori and Shirak Marzes. In the future, we plan to continue this research and perform a statistical evaluation of possible effect that sulfur dioxide contamination of air has on malignant neoplasms rates in a population.

**Keywords:** atmosphere remote sensing, nitrogen dioxide, sulphur dioxide, industrial atmospheric contamination, observations time series, environmental monitoring, population disease rates

*Accepted: 17.04.2017*

*DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-2-240-249*

### **References**

1. Ahmad S.P., Levelt P.F., Bhartia P.K., Hilsenrath E., Leppelmeier G.W., Johnson J.E., Atmospheric products from the Ozone Monitoring Instrument (OMI), *Proceedings of SPIE*, November 2003, Vol. 5151, pp. 619–630.
2. Andreasyan D., Davidyants V., Manukyan S., Badalyan A., Kalikyan Z., Khangeldyan S., *Health System Performance Assessment, Armenia 2009 National Report*, Yerevan: National Institute of Health after S. Avdalbekyan, 2009, 177 p.

3. Andreasyan D., Manukyan S., Bazarchyan A., Muradyan G., Potosyan A., *Health System Performance Assessment, Armenia 2014 National Report*, Yerevan: S. Avdalbekyan National Institute of Health, 2014, 103 p.
4. Andreasyan D., Manukyan S., Kyurumyan A., Davidyants V., Khangeldyan S., Kalikyan Z., Hakobyan Z., *Health System Performance Assessment, Armenia 2012 National Report*, Yerevan: National Institute of Health after S. Avdalbekyan, 2012, 149 p.
5. Andreasyan D., Manukyan S., Tsaturyan S., Gharakhanyan N., Potosyan A., Bazarchyan A., Zelveyan P., *Health System Performance Assessment, Armenia 2013 National Report*, Yerevan: National Institute of Health after S. Avdalbekyan, 2013, 108 p.
6. *Environmental Statistics of Armenia for 2012–2015 and Time-Series of Indicators for 2007–2015*, Yerevan: National Statistical Service of the Republic of Armenia, 2016 (in Armenian).
7. Jerrett M., Burnett R.T., Goldberg M.S., Sears M., Krewski D., Catalan R., Kanaroglou P., Giovis C., Finkelstein N., Spatial analysis for environmental health research: concepts, methods, and examples, *Journal of Toxicology and Environmental Health*, January 2003, Vol. 66, Part A, No. 16–19, pp. 1783–1810.
8. Levelt P.F., van den Oord G.H.J., Dobber M.R., Mälkki A., Visser H., de Vries J., Stammes P., Lundell J.O.V., Saari H., The Ozone Monitoring Instrument, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2006, Vol. 44, No. 5, pp. 1093–1101.
9. Nazaryan G., *Geo Alaverdi. Environment and Urban Development*, Yerevan: Asoghik, 2009, 74 p.
10. Qushkyan H., Khachatryan S., Dumanyan G., Davidyants V., Andreasyan D., Badalyan A., Khangeldyan S., Kalikyan Z., Manukyan S., *Health System Performance Assessment, Armenia 2007 National Report*, Yerevan: National Institute of Health after S. Avdalbekyan, 46 p.
11. Raulf-Heimsoth M., Hoffmeyer F., van Thriel C., Blaszkewicz M., Bünger J., Brüning T., Assessment of low dose effects of acute sulphur dioxide exposure on the airways using non-invasive methods, *Archives of Toxicology*, 2010, Vol. 84, No. 2, pp. 121–127.
12. Rousseeuw P.J., Leroy A.M., *Robust Regression and Outlier Detection*, Hoboken: John Wiley, 2003, 360 p.
13. Shah P.S., Balkhair T., Air pollution and birth outcomes: A systematic review, *Environment International*, 2011, Vol. 37, No. 2, pp. 498–516.
14. *The Remote Sensing of Tropospheric Composition from Space*, J.P. Burrows, U. Platt, P. Borrell (Eds), Berlin: Springer-Verlag, 2011, 552 p.