УДК 504.3. 054:628.511.1:551.578.4: 541.18(щ76.5)

О БИОСФЕРНОМ АЭРОПЛАНКТОНЕ И ЕГО ФУНКЦИЯХ

В.М. Катола, В.Е. Комогорцева
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт геологии и природопользования ДВО РАН, г. Благовещенск, Российская Федерация

Во время снегопада на территории города Благовещенска проведен прямой посев падающих снежинок на стандартную питательную среду – мясо-пептонный агар, на котором после инкубации при температуре +37^{o} выросли бактерии родов Bacillus sp., Pseudomonas sp., Sarcina flava, Serratia marcescens, представители рода Penicillium и темноокрашенных грибов. В талой воде и ее осадке с помощью электронной микроскопии выявлены дрожжевые грибы, мицелий плесневых грибов, элементарные тельца L- форм бактерий и пылевые частицы. Пыль, бактерии, конидии и споры грибов способны быть центрами ядрообразования снежинок.
Ключевые слова: *загрязнение атмосферы, пыль, снег, микроорганизмы*

ON BIOSPHERIC AEROPLANCTON AND ITS FUNCTIONS

B.M. Katola, V.E. Komogortseva
FBIS Institute of geology and management of natural resources FEB RAS, Blagoveshchensk, Russian Federation

During the snowfall in the city of Blagoveschensk, direct inoculation of the falling snowflakes was conducted using conventional medium - meat-and-peptone agar; after the incubation at a temperature of +37^{o} C the following bacteria grew up: Bacillus sp., Pseudomonas sp., Sarcina flava, Serratia marcescens, and representatives of Penicillium, as well dark-colored fungi. The electron microscopy identified the following in the melt water and its sediments\sludge: yeast fungi, mycelia of mold fungi, elementary bodies of L-phase bacteria variants and dust particles. Dust, bacteria, conidia and mushroom spores are able to be the centers for snowflakes nucleation.
Key words: *pollution of the atmosphere, dust, snow, microorganisms*

Введение

Луи Пастер (1822-1895) 7 апреля 1864 года сообщил широкой аудитории о присутствии микроорганизмов не только на окружающих объектах, но и в воздухе, тем самым доказав распространение инфекционных заболеваний воздушным путем. С тех пор считалось, что главными средами обитания микроорганизмов на Земле являются человек, животные, растения, почва, придонные и прибрежные илы водоемов, вода рек, озер и океанов. В атмосфере же они могут находиться только временно, поскольку давление воздуха в ней в несколько раз меньше, чем у земной поверхности, влажность ничтожно мала, отсутствуют питательные вещества, к тому же большую опасность для микроорганизмов представляют ультрафиолетовые лучи и ионизирующая радиация. Но при этом не придавалось значения, почему из атмосферы регулярно выделяются *Micrococcus roseus, M. candicam, M. flavus, Bacillus subtills, B. mycoides, B. mesenterieus, Sarcina flava, S. alba, S. rosea, виды Actinomyces, грибы Mucor*, *Penicillium, Aspergillus* и вирусы. Лишь в 80-х годах XX века возникло понимание того, что атмосфера служит не только связующим звеном земной и водной жизни, но и местом существования микроорганизмов. Их заносит в нее пыль, иными словами, аэрозольные частицы различной величины, формы, минералогического и химического состава. Они постоянно выпадают из космического пространства, образуются промышленными предприятиями, при извержении вулканов, выветривании горных пород, лесных и степных пожарах, масштабном выносе солевых аэрозолей с поверхности морей и океанов. Особенно огромные количества почвенных частиц и песчинок выносят в атмосферу сухие и быстрые воздушные потоки в период песчано-пыльных бурь. Возникнув в пустынях Монголии, северного Китая и восточного Казахстана, эти бури в виде плотных облаков проходят над Китаем, частью Дальнего Востока, Северной и Южной Кореей, Японией, США и Канадой. Пыль из Северной Африки несут на Восточное Средиземноморье, в Северную Атлантику и Восточную Европу средиземноморские циклоны [12, 13, 17]. По такому своеобразному «песчано-пылевому мосту» ежегодно из континента на континент через атмосферу переносятся около 10^{18} живых клеток микроорганизмов, пыльцы растений, эндотоксины, микотоксины, тяжелые металлы и пр. [11, 13]. Так, с пылью

из пустыни Сахары на ледник Монблан (Французские Альпы) были доставлены представители *Proteobacteria*, *Actinobacteria*, *Deinococcus-Thermus*, *Firmicutes*, *Bacterioudes, Pseudoclavibacter*, *Clostridium*, *Cyanobacteria*, *Crossiella*, *Stigonema, Devosia*, *Massilia* и др. Заметим, что многие из них могли расти и развиваться в снегу [7]. В Израиле после нескольких сахарских бурь в популяциях грибов стали доминировать *Penicillium chrysogenum*, *P. griseoroseum*, *Aspergillus niger*, *A. fumigatum*, *Cladosporium cladosporioides* и *Alternaria alternata* [20]. Пыль с Ближнего Востока и Северной Африки, обогатившая снега Эльбруса высокими концентрациями Си, Zn и Cd, обнаружена также на ледниках Кавказа [6].

Трансграничное загрязнение воздушной среды нехарактерными для нее физическими, химическими и биологическими факторами и энергией является одним из самых крупных экологических рисков для здоровья. По данным Минприроды России [2], в 2015 году общий объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферу страны составил 31268,6 тыс. т., причем, в ряде городов регистрировалось высокое и очень высокое загрязнение воздуха (более 10 ПДК м.р.), в том числе в Биробиджане, Благовещенске, Корсакове, Уссурийске и Южно-Сахалинске. В докладе Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) отмечено, что в 2012 году из-за низкого качества атмосферы умерло 3,9 млн. человек, страдавших ишемической болезнью сердца (40%), инсультом (40%), хроническими обструктивными болезнями легких (11%), раком легких (6%) и острой инфекцией нижних дыхательных путей у детей (3%).

Экологически значимые события, появление более совершенных методов исследований и технологий переориентировали взгляды на существование и разнообразие микроорганизмов в атмосфере. Сейчас известно, что основная их масса увлекается на высоту 1-1,5 км, на высоте 8-15 км встречается лишь 20% бактерий, тем не менее, это в 10 раз больше, чем количество грибов [10]. Правда, советский микробиолог А.А. Имшенецкий (1905-1992) выявил споры грибов Aspergillus niger, Papulaspora anomala и Circinella muscae на высоте 77 км, что вызвало сомнения у большинства специалистов. Однако прошло время и с помощью геофизических ракет споры обнаружили уже на высоте 85 км. Кроме бактерий, грибов, пыльцы растений и вирусов в атмосфере постоянно находятся простейшие организмы, водоросли, лишайники, мхи и др. Некоторые бактерии непосредственно в облаках делятся, синтезируют белки, разрушают органические вещества, метаболитами модифицируют химический состав атмосферы, формируют все виды осадков, влияют на метеорологические явления, не исключено, на климат и т.д. [14, 16, 18, 19]. Таким образом, в атмосфере постоянно существует и функционирует биосферный аэропланктон, который характеризуется самостоятельностью, разнообразием и значительной подвижностью.

В свете сказанного отметим, что около 15% атмосферного водяного пара легко притягивается к почвенным частицам, саже, вулканическому пеплу, к спорам бактерий и грибов, белкам клеточной стенки, к пыльце растений и др., образуя вокруг них водяную пленку [1, 3]. В результате при умеренных отрицательных температурах в атмосфере формируются облака, состоящие из смеси переохлажденных капелек и ледяных кристаллов. В их конденсации участвуют грамположительные и грамотрицательные бактерии [8, 15], однако в 69- 100% случаев ядрами образования льда являются Pseudomonas syringae [8, 9]. Снег – это горная порода из кристаллических зерен (снежинок), отличающихся друг от друга многообразием и величиной. При температуре –50оС их размер равен 0, 1 мм, при температуре –3оС – уже 1-2 мм. В условиях морского климата (Прибалтика, Курильские острова, Сахалин) образуются снежинки сложной формы, иногда в виде мохнатых хлопьев размером свыше 5-10 см. Снегопад создает снежный покров, который охлаждает приземные слои воздуха, воздействует на климат, ландшафты, гидрологические и почвообразовательные процессы, на человека, животных и растения. На протяжении всей зимы он оседает, уплотняется, изменяет структуру, состав и др. Обладая высокими сорбционными свойствами, снежный покров служит планшет- накопителем различных микроорганизмов, аэрозольных химических веществ и прочих загрязнителей, поступающих в атмосферу. Но их поступление и выпадение из нее должны быть убедительно подтверждены, поскольку они могут попадать в снежный покров из горных пород, подстилающих почв, промышленных предприятий, мусорных свалок и др. В этих случаях их содержание во много раз больше, чем в атмосферном воздухе. Например, в городе Благовещенске зимою концентрация ртути в приземной атмосфере колеблется от 5,3 до 7,5 нг/ м3, в снежном покрове на глубине 20 см – от 7,4 до 300 нг/кг при одновременно большом значении (нг/кг) меди (1100- 1300), цинка (3500- 9300), свинца (300- 980) и кадмия (31-32) [5]. Поэтому применяющиеся методики изучения снежного покрова, особенно его кернов, не всегда являются доказательством того, что выпало в снежный покров именно из атмосферы, а что привнесено в него ветром с деревьев, крыш домов или одежды прохожих.

Учитывая, что в различных местах выпадает «свой» снег, цель настоящей работы – исследование микробиологического состава снежинок, выпавших на территорию города Благовещенска.

Материалы и методы

Отбор материала проводили днем при полном безветрии на участке территории с запрещенным движением транспорта, отсутствием поблизости промышленных предприятий и котельных. Чтобы данные соответствовали реальности, проведено четыре серии опытов: 1) под падающие снежинки подставляли открытые чашки Петри с мясо-пептонным агаром (МПА), контролируя, чтобы в каждую

попало 5- 7 снежинок (в зависимости от их величины). Чашки сразу же закрывали крышками и помещали в термостат при температуре +37оС; 2) другие пустые стерильные чашки Петри целиком заполняли падающим снегом и при комнатной температуре переводили его в талую воду, к которой прикладывали сеточки с формваровой подложкой. Сеточки просушивали и просматривали в просвечивающем электронном микроскопе (ПЭМ) TESLA BS 500; 3) 0,1 мл талой воды наносили на липкую поверхность ленты, закрепленной на торце объектного столика электронного микроскопа; 4) удалив из чашек талую воду, готовили препараты- отпечатки из оставшегося осадка. Препараты 3-й и 4-й серий напыляли углеродом в ВУП-4 (вакуумный универсальный пост) и просматривали в сканирующем электронном микроскопе (СЭМ) JEOL ism- 35 C (Япония). Выросшие на чашках с МПА микроорганизмы идентифицировали микробиологическими методами.

Результаты исследований

При инкубации в термостате чашек с МПА, на которые падали снежинки, лишь в отдельных случаях вырастало 2- 3 изолированные колонии бактерий или грибов – чаще приходилось производить рассевы по известному методу Дрыгальского. В конечном итоге были диагностированы бактерии Bacillus sp., Pseudomonas sp., Serratia marcescens, Sarcina flava, представители рода Penicillium и темноокрашенных грибов. Однако использование одного МПА оказалось недостаточным для полной информации. При просмотре в ПЭМ сеточек с формваровой подложкой в талой воде, помимо палочковидных бактерий, визуализированы цепочки дрожжевых клеток (рис. а) и мицелий плесневых грибов (рис. б). Все они, находясь в атмосфере, сохраняли форму и не содержали на поверхности каких-либо частиц. Между тем, в препаратах-отпечатках в поле зрения СЭМ попадали элементарные тельца (ЭТ) L-форм бактерий (рис. в), полностью или частично лишенные клеточной стенки [4], разнообразные пылевые частицы и фрагменты отмершего мицелия с множеством частиц на поверхности (рис. г, д). Даже создается впечатление, будто частицы соединяются со структурно- функциональными центрами клеточной стенки, объединяя несколько гифов в единый комплекс. Похожие обрывки мицелия регулярно «отпечатываются» с покрытых пылью приборов и оборудования, с угольной, силикатной и кремниевой пыли и летучей золы ТЭЦ. На рис. е показано скопление частиц (адсорбат) на грибном фрагменте в препарате- отпечатке пыли с подоконника. Как видно, здесь частицы крупнее, достигают более 5 мкм в диаметре и также образуют комплекс из нескольких гифов. Это служит доказательством того, что в холодных слоях атмосферы бактерии и грибы не взаимодействуют с пылью и не образуют с ней органоминеральных комплексов – последние выносятся в атмосферу ветром с земной поверхности. Однако нет признаков, что снег и микробиота принадлежат «благовещенской атмосфере». Химический состав атмосферной пыли мы не исследовали. Скорее всего, она представляют собою смесь органических и минеральных компонентов. Более того, в ее составе могут находится такие элементы-сенсибилизаторы как Au, Be, Hg, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pt, Sb, Ti, W и др. А это означает, что пыль и микроорганизмы, попадая из воздуха в организм человека аэрогенным или алиментарным путем, способны вызвать дерматит, аллергический ринит, бронхиальную астму, пневмонию и прочие заболевания.

Выводы

1. В снежинках, падающих в безветренную погоду на город Благовещенск, визуализированы палочковидные бактерии, клетки плесневых и дрожжевых грибов, отмершие фрагменты мицелия плесневых грибов, элементарные тельца L- форм бактерий и множество мелкодисперсных частиц (пыль). Нет доказательств, что падающий снег сугубо «свой», «благовещенский».

2. Обнаруженные в снежинках пылевые частицы, бактерии, конидии и споры грибов могут быть центрами формирования снежинок.

3. Оседающая из атмосферы минеральная и органическая пыль, загрязняя городские экосистемы и проникая в жилища и организм горожан, является дополнительной причиной различной патологии.

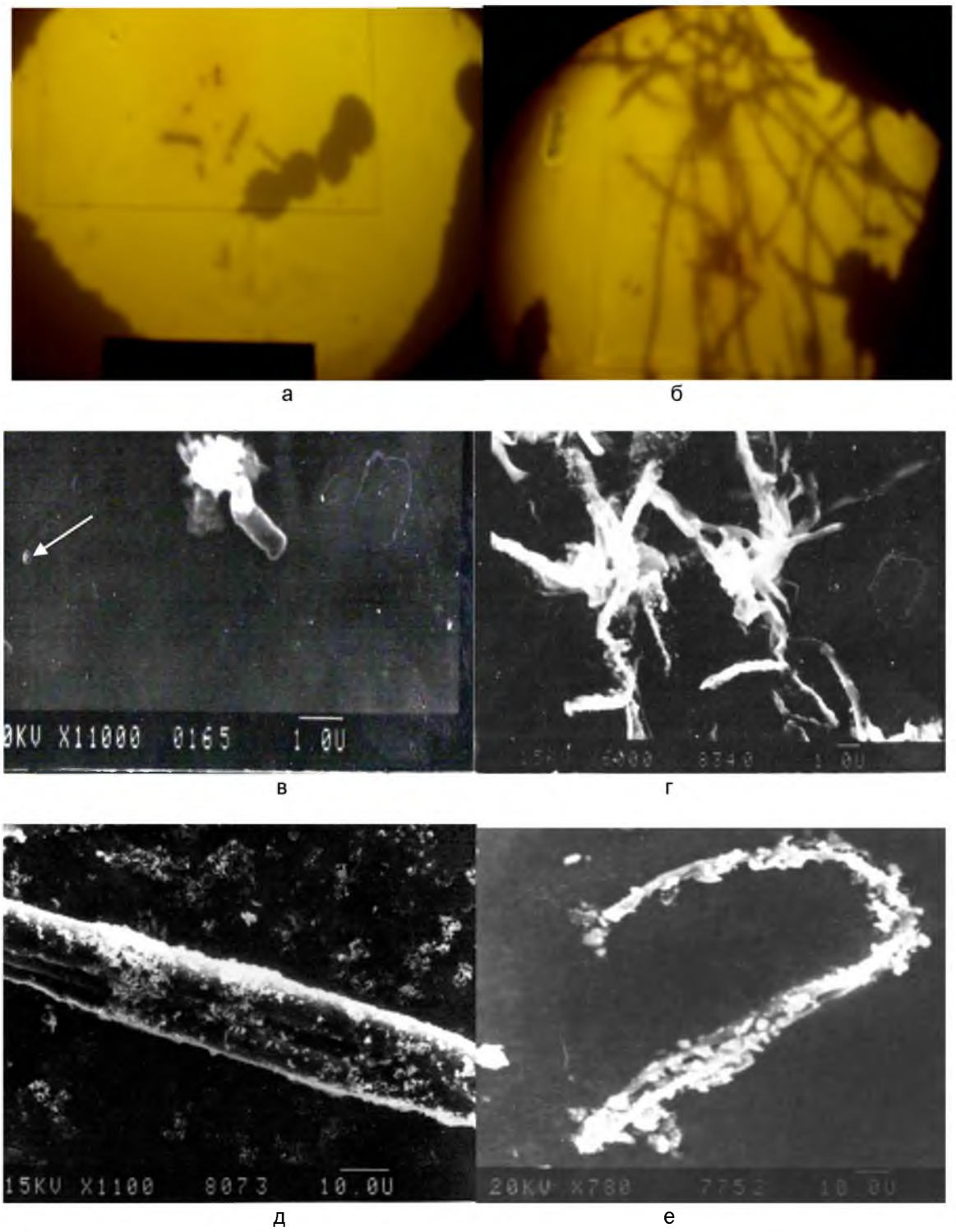

Рис. 1. **а – палочковидные бактерии и цепочка клеток дрожжевых грибов в талой воде (ПЭМ, х 3000); б – мицелий плесневых грибов в талой воде (ПЭМ, х 3000); в – элементарное тельце L-форм бактерий, отмеченное стрелкой (препарат-отпечаток, СЭМ, х 11000); г-д – мицелий плесневых грибов с адсорбатом на поверхности (препараты-отпечатки, СЕМ, х 6000 и 1100 соответственно); е – нагруженные адсорбатом гифы плесневых грибов в домашней пыли (препарат отпечаток, СЭМ, х 700).**

Литература

1. Голубев В.Н. Зарождение и рост кристаллов льда в атмосфере // Лед и Снег. - 2013. - № 1. - С. 53- 60.

2. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году». М.: Минприрод России; НИА-Природа 2016. - 639 с.

3. Дюнин А.К. В царстве снега. Новосибирск, 1983. - 83 с.

4. Елисеева И.В., Бабич Е.М., Волянский Ю.Л. и др. О роли латентных, трудно культивируемых и некультивируемых персистентных бактерий в патологии человека // Аннали Мечнівського Інституту.- 2006.- № 1. -С. 12-46.

5. Катола В.М. Токсичные металлы в окружающей среде Благовещенска // Экол. и пром. России.- 2010.- № 3.- С. 27-29.

6. Кутузов С.С., Михаленко В.Н., Шахгеданова М. и др. Пути дальнего переноса пыли на ледники Кавказа и химический состав снега на Западном плато Эльбруса // Лёд и Снег. - 2014.- № 3 (127). - С. 5-15.

7. Чувочина М. С. Бактериальное разнообразие снежного покрова ледника Монблан, содержащего почвенную пыль пустыни Сахара, и роль отдельных филотипов в его колонизации: Автореф. дис… канд. биол. Наук- Санкт-Петербург, 2011. -18 с.

8. Bauer H., Gieb H., Hitzenberger R. et al. Airborne bacteria as cloud condensation nuclei // J. of Geophysical.-2003.- Vol. 108, № 21.- P. 16.

9. Christner B.C., Morris C.E., Foreman C. M. et al. Ubiquity of Biological Ice Nucleators in Snowfall // Science.- 2008. - Vol. 319.- P. 1214.

10. DeLeon-Rodriguez N.,. Lathem T. L., Rodriguez-R L.M. et al. Microbiome of the upper troposphere: Species composition and prevalence, effects of tropical storms, and atmospheric implications // PNAS.- 2013.- Vol. 110, № 7.- P. 2575-2580.

11. Fenchel T. Biogeography for bacteria // Science.- 2003. -Vol. 301, № 5635.- P. 925-926.

12. Goudie A.S., Middleton N.J. Saharan dust storms: nature and consequences // Earth-Sci. Rev. - 2001.- Vol. 56.- P. 179-204.

13. Kellogg C.A., Griffin D.W. Aerobiology and the global transport of desert dust // Trends in Ecology and Evolution.- 2006. -№ 21.- P. 638-644.

14. Kuhn M. The nutrient cycle through snow and ice, a review // Aquatic Sci. – Res. Across Boundaries.- 2001. - Vol. 63. - P. 150-167.

15. Morris C.E., Georgakopoulos D.G., Sands D.C. Ice nucleation active bacteria and their potential role in precipitation // J. Phys.- 2004;- Vol. 121.- P. 87-103.

16. Morris C. E., Sands D. C., Bardin M. et al. Microbiology and atmospheric processes: research challenges concerning the impact of airborne microorganisms on the atmosphere and climate // Biogeosciences.- 2011.- № 8.- С. 17-25.

17. Moulin C., Lambert C.E., Dulac F., Dayan U. Control of atmospheric export of dust from North Africa by the North Atlantic Oscillation // Nature. - 1997. - Vol. 387, № 6634.- P.691–694.

18. Ruprecht J. Abundance of cellular material and proteins in the atmosphere // Science.- 2005. - V. 308.- P. 73.

19. Sattler B., Puxbaum H., Psenner R. Bacterial growth in supercooled cloud droplets // Geophys. Res. Lett. - 2001. -Vol. 28.- P. 239-242.

20. Schlesinger P., Mamane Y. , Grishkan I. Transport of microorganisms to Israel during Saharan dust events // Aerobiologia. -2006.- № 22.- P.229.

Сведения об авторах:

Ответственный автор: Катола Виктор Моисеевич *- кандидат медицинских наук, ведущий научный сотрудник Институт геологии и природопользования ДВО РАН,*
тел. (4162) 23- 07- 36, e-mail: katola-amur@list.ru