

5. Иванов В.П., Трухан С.Н., Кочубей Д.И., Куценкогий К.П., Макаров В.И. Анализ природы адсорбированных слоев атмосферных аэрозолей. *Химия в интересах устойчивого развития*. 2006; (5): 449–52.
7. Куликов В.Ю. Роль окислительного стресса в регуляции метаболической активности внеклеточного матрикса соединительной ткани (обзор). *Медицина и образование в Сибири*. 2009; (4). Available at: http://ngmu.ru/cozo/mos/article/text_full.php?id=363
13. Голохваст К.С. Атмосферные взвеси городов Дальнего Востока. Владивосток: ДВФУ; 2013.
14. Голохваст К.С., Христофорова Н.К., Кики П.Ф., Гульков А.Н. Гранулометрический и минералогический анализ взвешенных в атмосферном воздухе частиц. *Бюллетень физиологии и патологии дыхания*. 2011; (2): 94–100.
17. Зенков Н.К., Меньшикова Е.Б., Ткачев В.О. Некоторые принципы и механизмы редокс-регуляции. *Кислород и антиоксиданты*. 2009; (1): 3–64.
23. Дубинина Е.Е. *Продукты метаболизма кислорода в функциональной активности клеток: жизнь и смерть, созидание и разрушение. Физиологические и клинико-биохимические процессы*. СПб.: Мед. Пресса; 2006.

References

1. Gehring U., Gruzdeva O., Agius R.M., Beelen R., Custovic A., Cyrys J., et al. Air pollution exposure and lung function in children: the ESCAPE project. *Environ. Health Perspect.* 2013; 121 (11-12): 1357–64.
2. Lim S.S., Vos T., Flaxman A.D., Danaei G., Shibuya K., Adair-Rohani H., et al. A comparative risk assessment of burden of disease and injury attributable to 67 risk factors and risk factor clusters in 21 regions, 1990–2010: a systematic analysis for the global burden of disease study 2010. *Lancet*. 2012; 380 (9859): 2224–60.
3. Lisitsyn A.P. *Processes of Oceanic Sedimentation: Lithology and Geochemistry, Special Publications Series*. Washington: American Geophysical Union; 1991.
4. Brook R.D., Rajagopalan S., Pope C.A., Brook J.R., Bhatnagar A., Diez-Roux A.V., et al. Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: an update to the scientific statement from the American Heart Association. *Circulation*. 2010; 121 (21): 2331–78.
5. Ivanov V.P., Trukhan S.N., Kochubey D.I., Kutsenogiy K.P., Makarov V.I. Analysis of nature of adsorbed layers of atmospheric aerosols. *Khimiya v interesakh ustoychivogo razvitiya*. 2006; (5): 449–52. (in Russian)
6. Mikkelsen R.B., Wardman P. Biological chemistry of reactive oxygen and nitrogen and radiation-induced signal transduction mechanisms. *Oncogene*. 2003; 22 (37): 5734–54.
7. Kulikov V.Yu. Role of oxidative stress in metabolic regulation of activity of extracellular matrix in connective tissue (review). *Meditsina i obrazovanie v Sibiri*. 2009; (4). Available at: http://ngmu.ru/cozo/mos/article/text_full.php?id=363 (in Russian)
8. Holmgren A., Lu J. Thioredoxin and thioredoxin reductase: current research with special reference to human disease. *Biochem. Biophys. Res. Commun.* 2010; 396 (1): 120–4.
9. Mahmood D.F.D., Abderrazak A., El Hadri K., Simmet T., Rouis M. The thioredoxin system as a therapeutic target in human health and disease. *Antioxid. Redox. Signal.* 2013; 19 (11): 1266–303.
10. Carillo Torrao R.B.D., Dias I.H.K., Bennett S.J., Dunston C.R., Griffiths H.R. Healthy ageing and depletion of intracellular glutathione influences T cell membrane thioredoxin-1 levels and cytokine secretion. *Chem. Cent. J.* 2013; 7 (1): 150.
11. Lillig C.H., Holmgren A. Thioredoxin and related molecules—from biology to health and disease. *Antioxid. Redox. Signal.* 2007; 9 (1): 25–47.
12. Zschauer T.C., Kunze K., Jakob S., Haendeler J., Altschmid J. Oxidative stress-induced degradation of thioredoxin-1 and apoptosis is inhibited by thioredoxin-1-actin interaction in endothelial cells. *Arterioscler. Thromb. Vasc. Biol.* 2011; 31 (3): 650–6.
13. Golokhvast K.S. *Atmospheric Suspensions in Cities of Far East [Atmosfernye vzvesi gorodov Dal'nego Vostoka]*. Vladivostok: DVFU; 2013. (in Russian)
14. Golokhvast K.S., Khristoforova N.K., Kiku P.F., Gul'kov A.N. Granulometric and mineralogical analysis of particles suspended in atmospheric air. *Byulleten' fiziologii i patologii dykhaniya*. 2011; (2): 94–100. (in Russian)
15. Donaldson K. The biological effects of coarse and fine particulate matter. *Occup. Environ. Med.* 2003; 60 (5): 313–4.
16. Lushchak V.I. Adaptive response to oxidative stress: Bacteria, fungi, plants and animals. *Comp. Biochem. Physiol. C. Toxicol. Pharmacol.* 2011; 153 (2): 175–90.
17. Zhenkov N.K., Men'shchikova E.B., Tkachev V.O. Some principles and mechanisms of redox regulation. *Kislород i antioksidanty*. 2009; (1): 3–64. (in Russian)
18. Njuguna J., Pielichowski K., Zhu H. *Health and Environmental Safety of Nanomaterials*. Sawston: Woodhead Publishing; 2014.
19. Mastrofrancesco A., Alfè M., Rosato E., Gargiulo V., Beatrice C., Di Blasio G., et al. Proinflammatory effects of diesel exhaust nanoparticles on scleroderma skin cells. *J. Immunol. Res.* 2014; 2014: 138751.
20. Faurschou A., Menné T., Johansen J.D., Thyssen J.P. Metal allergen of the 21st century – a review on exposure, epidemiology and clinical manifestations of palladium allergy. *Contact Dermatitis*. 2011; 64 (4): 185–95.
21. Ogino K., Wang D.H. Biomarkers of oxidative/nitrosative stress: an approach to disease prevention. *Acta Medica Okayama*. 2007; 61 (4): 181–9.
22. HEI Review Panel on Ultrafine Particles: *Understanding the Health Effects of Ambient Ultrafine Particles*. Boston: Health Effects Institute; 2013.
23. Dubinina E.E. *Products of Oxygen Metabolism in Functional Activity of Cells (Life and Death, Creation and Destruction), Physiological and Clinical Biochemical Aspects [Produkty metabolizma kisloroda v funktsional'noy aktivnosti kletok: zhizn' i smert', sozidanie i razrushenie. Fiziologicheskie i kliniko-biokhimicheskie protsessy]*. St. Petersburg: Med. Pressa; 2006. (in Russian)
24. Shen Z.Y., Shen W.Y., Chen M.H., Shen J., Zeng Y. Reactive oxygen species and antioxidants in apoptosis of esophageal cancer cells induced by As₂O₃. *Int. J. Mol. Med.* 2003; 11 (4): 479–84.
25. Wu Y.T., Wu S.B., Wei Y.H. Metabolic reprogramming of human cells in response to oxidative stress: implications in the pathophysiology and therapy of mitochondrial diseases. *Curr. Pharm. Des.* 2014; 20 (35): 5510–26.

Поступила 06.11.16
Принята к печати 16.01.17

© ЭЛЬПИНЕР Л.И., ДЗЮБА А.В., 2017

УДК 614.7:551.345:578/579

Эльпинер Л.И., Дзюба А.В.

МЕДИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДЕГРАДАЦИИ ЗОНЫ МНОГОЛЕТНЕЙ МЕРЗЛОТЫ: ПРОБЛЕМА ПАЛЕОВИРУСНОЙ КОНТАМИНАЦИИ

ФГБУН «Институт водных проблем» Российской академии наук, 119991, г. Москва

Излагается концепция возможной глобальной вирусной инвазии, связанной с процессами таяния вечной мерзлоты и вероятностью палеовирусного загрязнения подземных вод. Рассмотрен наиболее реальный механизм развития этого процесса, а также пути возможного формирования новой эпидемической обстановки, зависящие от особенностей использования населением подземных и поверхностных вод криолитозоны (зоны вечной мерзлоты) для питьевых целей. Обоснована необходимость развития углублённых масштабных междисциплинарных исследований с целью выяснения патогенетической значимости палеовирусов в зоне вечной мерзлоты и оценки необходимости разработки комплекса природоохранных и противоэпидемических мероприятий.

Ключевые слова: климат; криолитозона; реактивация палеовирусов; медицинская гидрогеология; экологический кризис.

Для цитирования: Эльпинер Л.И., Дзюба А.В. Медико-экологические аспекты деградации зоны многолетней мерзлоты: проблема палеовирусной контаминации. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(8): 706–711. DOI <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-8-706-711>

Для корреспонденции: Эльпинер Леонид Исаакович, д-р мед. наук, проф., гл. науч. сотр. ФГБУН «Институт водных проблем» Российской академии наук. E-mail: elpiner@rambler.ru.

Elpiner L.I., Dzyuba A.V.

MEDICAL AND ENVIRONMENTAL ASPECTS OF THE DEGRADATION OF THE PERMAFROST ZONE: PROBLEM OF PALEOVIRAL CONTAMINATION

Water Problems Institute of the Russian Academy of Sciences, Moscow, 119991, Russian Federation

We present the concept of a possible global viral infestation associated with the processes of permafrost melting and probability of groundwater contamination with paleoviruses. The most realistic mechanism of the development of this process is considered, as well as possible ways of forming of a new epidemic situation, depending on characteristics of groundwater and surface water use for drinking purposes by the population of the permafrost zone (permafrost). The necessity of in-depth development of large-scale multi-disciplinary researches in order to clarify the pathogenetic significance of paleoviruses in the permafrost zone and assess the need of the development of the composition and the nature of the complex environmental and anti-epidemic measures is substantiated.

Key words: climate; permafrost; reactivation polioviruses; medical hydrogeology; environmental crisis.

For citation: Elpiner L.I., Dzyuba A.V. Medical and environmental aspects of the degradation of the permafrost zone: problem of paleoviral contamination. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2017; 96(8): 706-711. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.1882/0016-9900-2017-96-8-706-711>

For correspondence: Leonid I. Elpiner, Dr. Sci. Med., MD, PhD, DSci., prof., Chief researcher of the Institute of Water Problems of Russian Academy of Sciences, Moscow, 119991, Russian Federation. E-mail elpiner@rambler.ru

Information about authors :

Dzyuba A.V., Researcher ID P-2619-2014, ID Scopus 6603579558. The degree of participation of authors 50%.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. This work was supported both by the Russian Foundation for Basic Research in the framework of Project No. 16-05-00553 and the Russian Science Foundation in the framework of Project No. 14-17-00791.

Received: 20.09.16

Accepted: 16.01.17

Изменения климата и деградация криолитозоны

Криолитозона, или многолетняя мерзлота, или зона многолетнемерзлых пород, в настоящее время занимает около 25% площади всей суши. Только в Австралии она не встречается вовсе. В Северном полушарии площадь распространения материковой многолетней мерзлоты составляет около 26 млн км². На территории России многолетнемерзлые породы распространены на площади около 11 млн км² (см. рисунок) [1].

Основными характеристиками криолитозоны являются площадь её распространения, мощность многолетнемерзлых пород, их температура и глубина сезонного протаивания. Ранее [2] нами показано, что в последние 35 лет глубина протаивания возрастала в зонах распространения многолетней мерзлоты различной степени сомкнутости, при разных растительных покровах, различных почвах и разной влажности грунтов в среднем со скоростью 1 см в год. При этом в отдельных районах приполярной зоны, например, на Европейском Севере России (Воркута) и восточном побережье Гренландии (г. Закенберг) в 1990–2000 гг. наблюдался гораздо более быстрый рост толщины слоя протаивания, равный соответственно 2,1 и 1,7 см/год [2]. Согласно последним данным, полученным с использованием моделей долгосрочных прогнозов изменения климата, к середине текущего столетия площадь многолетнемерзлых грунтов сократится примерно на 30%, а её граница сместится к северо-востоку примерно на 200 километров [3].

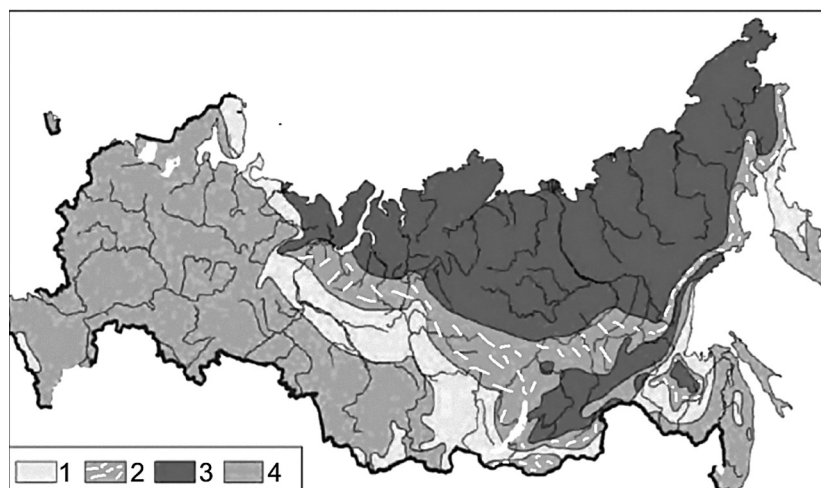
Микроорганизмы криолитозоны

Биологические включения многолетнемерзлых пород – малоисследованная область научных знаний. Особый интерес здесь представляют молекулярные основы их тепловой стабильности. В первую очередь это касается палеомикробных сообществ. Вместе с тем интерес отечественных и зарубежных учёных к микробному миру криолитозоны обнаруживается в научных статьях, опубликованных ещё в первой половине XX века [4]. Анализ последующих публикаций позволяет говорить о формировании самостоятельного научного направления – палеомикробиологии, представленного прежде всего работами Д.А. Гиличинского и его школы. Труды этой школы определили совершенно новый предмет исследований – древние микроорганизмы, сохранившие свою жизнеспособность. По представлениям авторов, их биомасса, с учетом мощности мерзлых толщ,

значительно превышает современную. Эти положения позволяют рассматривать сформированное на стыке биологических знаний и наук о Земле направление как раздел палеобиологии и как раздел геомикробиологии. Следует отметить, что эти работы касаются лишь бактериальной составляющей палеосистем. Действительно, целый ряд серьёзных исследований свидетельствуют о возможности длительного сохранения жизнеспособных прокариотных¹ и эукариотных² криоорганизмов в условиях постоянных отрицательных температур многолетнемерзлых толщ, возраст которых достигает 2–3 млн лет [5]. В Антарктиде в 1979 г. обнаружены цианобактерии (возраст около 500 тыс. лет), а также бактерии, грибы, диатомеи и другие микроорганизмы, которые сохранили жизнеспособность на глубине 3600 м [6]. Иссле-

¹ Прокариоты – доядерные организмы, у которых клетки не имеют окружённого мембраной ядра. Клеточное ядро у прокариотов отсутствует, ДНК находится во внутренней части клетки, где поддерживается белками и упорядочено свернуто.

² Эукариоты – организмы, клетки которых содержат оформленное ядро.



Распространение многолетней мерзлоты на территории России.

1 – зона с островным (менее 50% площади) распределением многолетнемерзлых грунтов; 2 – зона с прерывистым (50–90%) распределением многолетнемерзлых грунтов; 3 – зона со сплошным (более 90%) распределением многолетнемерзлых грунтов; 4 – зона сезонного промерзания. (По данным [1]).

дования под руководством Д.А. Гиличинского, проведённые в Институте физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, свидетельствуют, что многолетнемёрзлые породы Арктики содержат экосистемы, изолированные от остальной части биосферы на протяжении последних примерно 100 тыс. лет. Эти экосистемы находятся в криопэгах (изолированных водных линзах) с температурой около -9°C и минерализацией около 300 г/л. Бактериальное сообщество криоэкосистем состоит из аэробных и анаэробных бактерий и грибов, которые метаболически активны [7]. В многолетнемёрзлых породах обнаружены микроводоросли [8], дрожжи [9], споры мхов, а также семена высших растений, способные к прорастанию [7], жизнеспособные цисты простейших, находившиеся в состоянии анабиоза сотни тысяч лет [5]. В Якутии (Мамонтова гора) в многолетней мерзлоте выявлена бактерия *Bacillus F*, возраст которой составляет более миллиона лет (она исследуется в Институте химической биологии и фундаментальной медицины СО РАН).

Уместно отметить, что проблема восстановления жизнеспособности и свойств бактерий находится также в сфере интересов санитарной микробиологии в связи с изучением эффективности средств обеззараживания воды. В частности, речь идёт о возможной реактивации микроорганизмов после достигнутого в процессе обеззараживания бактериостатического эффекта, что снижает надёжность контроля и адекватность оценки её эпидемиологической безопасности [10].

Что касается палеовирусов, то данные об их сохранении в зоне вечной мерзлоты значительно более скромны, чем аналогичные сведения о бактериальных формах микроорганизмов. Тем не менее установлено, что в многолетнемёрзлых породах на протяжении тысячелетий сохраняются жизнеспособные штаммы вирусов гриппа А. Обнаружены жизнеспособные вирусы оспы, возраст которых около 25 тыс. лет [11, 12]. Есть основания полагать, что вирус оспы в захоронениях в условиях многолетней мерзлоты характеризуется практически абсолютной выживаемостью. Вне зоны незамерзшей воды (криопэгов) в толще многолетнемёрзлых пород, содержащих органику, находятся неактивные вирусы в виде кристаллов, состоящих из множества вирионов. Их сохранению способствуют отрицательная температура и отсутствие света [12].

Проблема палеовирусной контаминации

Опасность палеовирусной контаминации поверхностных и подземных водоисточников, впервые обозначенная авторами в 2011 г. [13], до сих пор не изучена.

Для понимания биологической сущности палеовирусологических теоретических построений уместно отметить принципиальные аспекты современных представлений о природе и свойствах вирусов. По существу, за последние 15–20 лет большинство разделов вирусологии существенно изменились. По мнению ряда крупнейших вирусологов, «вирусы нельзя считать чем-то живым. Фактически – это весьма разной формы и размеров частицы из наследственного материала (ДНК или РНК), упрятанного в белковую оболочку, неспособные жить самостоятельно. Например, один из вариантов вируса полиомиелита может быть представлен просто химической формулой: $\text{C}_{332652}\text{H}_{492388}\text{N}_{98245}\text{O}_{131196}\text{P}_{7501}\text{S}_{2340}$ » [14].

Чтобы избежать любых отклонений от современных позиций крупных вирусологов, мы сочли необходимым использование оригинальных выдержек из их публикаций. Так, выдающийся отечественный вирусолог академик В.М. Жданов, много лет возглавлявший Институт вирусологии им. Д.И. Ивановского РАМН СССР, отмечал: «Накопившиеся к настоящему времени данные позволяют также прийти к выводу, что вирусы не являются организмами, пусть даже мельчайшими, так как любые, даже минимальные организмы типа микоплазм, риккетсий или хламидий имеют собственные белоксинтезирующие системы. К вирусам неприменимы и многие другие понятия, являющиеся «атрибутами» организмов, и прежде всего такие фундаментальные понятия, как «особь», «популяция», «вид». Существует несколько групп вирусов, у которых геном не только фрагментарен, но и разные его фрагменты разобщены и находятся в различных частицах. Вирус проявляет инфекционные свойства лишь при попадании полного набора разноимённых частиц, число которых у вирусов растений 2–4,

а у некоторых вирусов насекомых достигает 28» [15]. Член-корреспондент РАН, доктор биологических наук, главный научный сотрудник Института полиомиелита и вирусных энцефалитов им. М.П. Чумакова РАН, профессор кафедры вирусологии и заведующий отделом Института физико-химической биологии им. А.Н. Белозёрского МГУ В.И. Агол считает, что «вирусы – это генетические элементы, существующие в двух формах. Первая – пассивная, внеклеточная форма представляет собой молекулы ДНК или РНК, обычно заключённые в белковую оболочку, иногда содержащую ещё липиды и углеводные компоненты. Можно сказать, что вирусы – просто некий класс весьма сложных химических соединений. Другая форма существования вирусов – активная, внутриклеточная и обычно способная к выражению генетической информации. В такой форме они – живые объекты, обладающие наследственностью и эволюционирующие» [16].

Таким образом, после попадания вирусной частицы в чувствительную клетку вирус приобретает новое качество – способность размножаться. При таянии многолетней мерзлоты в подземном биотопе с огромной скоростью могут образовываться новые поколения древних вирусов.

Концентрация вирусов в воде зависит от баланса двух факторов: скорости размножения, определяющей скорость гибели клеток-хозяев, и скорости распада (деградации) вирусов. Отсутствие солнечного света способствует наращиванию концентрации палеовирусов в подземных водах.

Подземные воды криолитозоны становятся резервуарами древних микроорганизмов и «природными лабораториями» по активизации палеовирусов. Таким образом, криолитосфера является природным банком жизнеспособных палеобиосистем, а также биологически активных и неактивных палеовирусов, соотвествующих генетическому разнообразию разных периодов эволюции биосферы.

Предпосылки глобальной миграции палеовирусов

По данным современной гидрогеологии, подземные воды криолитозоны вовлечены в региональный и глобальный водообмен. В результате естественной и искусственной разгрузки подземных вод древние криолитобионты и палеовирусы приобретают возможность проникновения в педобиосферу³, гидробиосферу, террабиосферу⁴ и аэробносферу, приуроченные к зоне оттаивания многолетнемёрзлых пород. Жизнеспособные бактерии и вирусы в довольно высоких концентрациях поступают в атмосферу с поверхности суши, пресных водоёмов, морей и океанов. Как правило, большая часть крупных микроорганизмов (свыше 100 мкм) «выпадают» в радиусе локальных атмосферных вихрей (примерно до 100 км). Более мелкие микроорганизмы и вирусы становятся примесями региональных и глобальных воздушных потоков. Часть из них выпадает на подстилающую поверхность вместе с атмосферными осадками, часть задерживается положительными формами рельефа или растительным покровом суши. Некоторая часть захваченных с поверхности микроорганизмов и вирусов может адаптироваться и стать аэробнонтами. В пробах воздуха, взятых как около поверхности Земли, так и в более высоких слоях стратосферы (даже свыше 27 000 м), найдены кристаллы вирусов, бактерии, грибы, пыльца и другие микроорганизмы [17]. Согласно тому же источнику, над полярными областями выделены жизнеспособные микроорганизмы, которые выдерживают в течение длительных периодов времени температуры ниже -20°C . Воздушные массы содержат микроорганизмы, число которых может превышать 500 в 1 м³ объёма воздушного пространства. В отдельных пробах воздуха обнаружено свыше 100 микроорганизмов в 1 см³ воздуха, причём их размер колебался в пределах 0,2–2 мкм [17]. Поднятые в воздух палеовирусы могут внедриться в клетки простейших и многоклеточных аэробнонтов (например, насекомых или птиц), которые будут синтезировать необходимые для вируса белки и нуклеиновые кислоты. В результате будут образовываться новые и новые поколения древних вирусов. Время пребывания в атмосфере захваченных с поверхности Земли микроорганизмов

³ Педобиосфера – часть биосферы, относящаяся к почве; совокупность почвенных организмов и продуктов их жизнедеятельности.

⁴ Террабиосфера – часть геобиосферы, представляющая собой область жизни на поверхности суши и населенная террабионтами.

и вирусов составляет до нескольких месяцев [17]. Время полного перемешивания воздуха в тропосфере не превышает двух мес [3]. Поэтому атмосферный транспорт палеобинтов и древних вирусов может иметь глобальный характер. Принципиально схожий механизм распространения древних микроорганизмов и вирусов характерен и для поверхностной гидросферы. Функции воздушных потоков в этом случае выполняют реки, морские течения и процессы перемешивания. Для медико-экологической оценки этой ситуации в целом водный фактор приобретает особое дополнительное значение.

Медико-экологические аспекты проблемы

Современные знания о роли водного фактора в формировании здоровья населения опираются на интенсивно развитые в XX и XXI веках углублённые исследования в области профилактических медицинских дисциплин (гигиены, экологической эпидемиологии и токсикологии, медицинской статистики и демографии), а также медицинской географии.

Сформированный банк научных данных о прямых и косвенных связях, масштабах инфекционной, паразитарной и неинфекционной (в том числе канцерогенной и неканцерогенной, сердечно-сосудистой) заболеваемости с антропогенными химическими и биологическими загрязнениями, природными включениями питьевых вод из поверхностных и подземных источников [18, 19].

Необходимость решения задач полноценного и безопасного водоснабжения населения как важнейших и первостепенных подчёркивается положениями целого ряда крупных международных документов, в том числе Всемирной организации здравоохранения, Европейского союза [20]. Декларации крупных международных форумов отмечают острую необходимость преодоления крайне негативного влияния качественного и количественного дефицита пресных вод на здоровье людей. Серьёзность ситуации заставила Генеральную Ассамблею ООН объявить 2005–2015 гг. Международным десятилетием действий «Вода для жизни».

В связи с резким ухудшением качества поверхностных водоемисточников, а на ряде территорий и их количественным дефицитом приобретает всё большие масштабы и значимость использование для коммунального водоснабжения подземных водоисточников. Однако последние десятилетия изменили более ранние представления о повсеместном высоком качестве подземных вод, их высокой защищённости от внешних воздействий. В гидрогеологию включён важный медико-экологический раздел [21]. По данным ВОЗ, 80% всех болезней в мире связано с неудовлетворительным качеством питьевой воды и нарушениями санитарно-гигиенических норм водоснабжения. В Российской Федерации недоброкачественной питьевой водой обеспечивается около 7,6–9,4% населения.

Эта информация приобретает особую важность в соответствии с установленными связями целого ряда инфекционных заболеваний, в том числе вспышечного характера, с водным путём их распространения. Речь идет как об инфекциях, вызываемых возбудителями бактериальной природы (холера, брюшной тиф и паратиф, колиэнтериты, дизентерия, лептоспирозы, туберкулёз), так и вирусами (инфекционный гепатит, или болезнь Боткина, полиомиелит, аденовирусные и энтеровирусные инфекции, лихорадка Ку). Общим для всех этих инфекций является фекально-оральный механизм передачи.

Что касается масштабов такого явления, как водные инфекции, то они зависят от численности населения, снабжаемого водой из данного источника, – от сотен до десятков тысяч человек. Однако хорошо известны холерные и брюшнотифозные эпидемии, потрясавшие многие страны в конце прошлого и начале нашего столетия. Только эпидемия холеры, прошедшая в целом ряде стран и некоторых южных районах СССР в 1964 г., унесла 20 187 жизней, при общем числе заболевших 61 400 человек. Характерно, что к основным причинам этой эпидемии видный советский эпидемиолог академик АМН СССР О. Бароян относит широкую циркуляцию и устойчивость возбудителя (вибриона Эль-Тор) в системе вода–человек–вода.

Что касается вирусных возбудителей, то санитарная вирусология рассматривает уже активные вирусные образования, попадающие, главным образом, от больного со сточными во-

дами в питьевые водоисточники и далее к человеку. Активный вирус сохраняет патогенность после замораживания в течение 2 лет, устойчив к большинству дезинфицирующих средств и при кипячении погибает лишь через 30–60 мин. В связи с этим стандартные способы очистки и обеззараживания воды не всегда достаточно эффективны, например, против вируса гепатита, а коли-бактериальные показатели могут и не отражать реального вирусного загрязнения. В последние годы во многих странах мира всё большее внимание привлекает ведущая роль норовирусов в возникновении вспышек острого гастроэнтерита и второе по значимости место после ротавирусов в инфекционной кишечной патологии детей первых лет жизни. Норовирусы (выделены из семейства *Picornaviridae* только в 1979 г.) относятся к семейству *Caliciviridae*. Они поражают многие виды позвоночных животных, включая человека [22].

Возвращаясь к основной теме настоящего сообщения, следует отметить, что зона возможной активизации палеовирусов, занятая многолетней мерзлотой, занимает около 65% территории России (11 млн км²). Наиболее широко она распространена в Сибири и Забайкалье (см. рисунок). Численность населения, постоянно проживающего в криолитозоне, составляет примерно 10 млн человек. В Российской части многолетней мерзлоты имеются несколько городов с населением более 100 тыс. человек (Якутск, Салехард, Воркута, Норильск, Иркутск, Ханты-Мансийск и др.), крупные речные порты, развитая городская, транспортная и промышленная инфраструктура.

Для оценки возможной эпидемической значимости палеовирусной инвазии важно учитывать возможные пути инфицирования питьевых водоисточников талыми водами криолитозоны. Первый из них – следствие разгрузки подземных вод в многочисленные реки и озера. Второй – следствие непосредственного использования подземных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения населённых пунктов, расположенных в районах распространения многолетнемерзлых пород. В то же время в центральной части азиатской территории России доля подземного стока в реки составляет 10–20% от общего речного стока [23], а вовлечённость пресных подземных вод в системы централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения городов и крупных населённых пунктов (райцентров), расположенных в зоне распространения многолетней мерзлоты, оказывается достаточно значительной. Так, в Ямало-Ненецком автономном округе пресные подземные воды являются основным источником хозяйственно-питьевого водоснабжения городов и посёлков. Их общие эксплуатационные запасы – 512 тыс. м³/сут. В Республике Коми в эксплуатации находится 17 месторождений пресных подземных вод с утверждёнными запасами 373,5 тыс. м³/сут с суммарным фактическим водоотбором 111,5 тыс. м³/сут. В Республике Саха (Якутия) 169 действующих водозаборов подземных вод, в том числе 13 групповых, 9 централизованных и 147 одиночных. В Красноярском крае потенциальные эксплуатационные ресурсы питьевых подземных вод составляют свыше 10 км³/год, или около 5% от общероссийских. Однако их фактическое использование не превышает 3–4% от этого объёма, что определяет хорошие перспективы для роста их использования в народном хозяйстве. В настоящее время разведано 22 месторождения пресных подземных вод, из которых введено в эксплуатацию 15. В Архангельской области подземные воды забираются в 1360 скважинах, в том числе в 79 скважинах на групповых водозаборах. Кроме того, на территории области разведано 8 подземных месторождений минеральных вод, разведанные эксплуатационные запасы которых составляют 21,25 тыс. м³/сут, из них для промышленного освоения подготовлены 2,57 тыс. м³/сут [24].

Изложенные выше данные свидетельствуют о возможных существенных масштабах эпидемиологических последствий загрязнения подземных вод палеовирусами. В случае реализации изложенной гипотезы и патогенетической значимости новых возбудителей их распространение может значительно расширяться за счёт загрязнения и поверхностных водоисточников, связанных с подземными водными потоками, и за счёт миграционных процессов, характерных для непостоянных жителей зоны вечной мерзлоты.

Возможности возникновения экологического кризиса с палеовирусологическим пусковым механизмом

Современные представления палеовирусологии, мерзлотоведения, гидрометеорологии и гидрогеологии позволяют высказать некоторые соображения о вероятности формирования глобальных критических экологических явлений в связи с активизацией палеовирусов в условиях температурной деградации криолитозоны.

Долговременное (порядка десятилетий) и интенсифицирующееся (в соответствии с темпами потепления) загрязнение подземных вод криолитозоны чужеродными для современной биосферы палеовирусами должно способствовать появлению их новых хозяев. В биотопах подземных вод сформируется инвазионное давление чужеродных микроорганизмов и вирусов. Создадутся предпосылки для развития локального (зона оттаивания многолетней мерзлоты) инвазионного взрыва и мутации современных литогидробионтов. В результате естественной и искусственной разгрузки подземных вод древние микроорганизмы и вирусы, а также инфицированные ими литогидробионты попадут в почву, поверхностную гидросферу и атмосферу. При этом глобальное распространение древних микроорганизмов и вирусов окажется связанным с процессами общей циркуляции атмосферы и океана.

Высокая экологическая пластичность и адаптивная способность вирусов создаёт предпосылки для широкомасштабной колонизации палеовирусами основных частей биосферы, инфицирования современных бионтов и формирования глобального инвазионного давления. Вполне вероятно «переход» аллохтонных (привнесённых извне) вирусов в группу автохтонных (присущих данной природной формации), что, по сути, определит эволюционные изменения в экологии современной биосферы. Нахождение палеовирусами новых хозяев среди современных обитателей биосферы (включая человека) может привести к изменению их генетического аппарата. В настоящее время имеется ряд свидетельств об изменениях вирулентности вирусов, об их переходе из одних экосистем в другие, об адаптации к новому хозяину и о циркуляции вирусов между экосистемами подземной гидросферы, суши, наземной гидросферы и атмосферы [25, 26]. Однако палеовирусы и древние криолитобионты малоизучены. Поэтому степень опасности массового инфицирования современных бионтов, включая людей, неизвестными современной науке вирусами трудно преувеличить. Одним из серьёзных факторов палеовирусной инвазии является мутагенный потенциал вирусов и их способность осуществлять горизонтальный перенос генов – передачу генетической информации не от непосредственных родителей своему потомству, а между двумя неродственными (или даже относящимися к разным видам) особями [27]. Горизонтальный перенос генов между филогенетически отдалёнными таксонами является одним из ключевых движущих факторов эволюции у прокариот. Не менее 80% генов в каждом прокариотическом геноме участвовали в процессе горизонтального обмена на том или ином этапе эволюции [28]. В связи с открытием ретровирусов, способных встраиваться в геном, возник вопрос о возможности переноса генетического материала от одного эукариотического организма к другому без полового процесса. В последние годы результаты изучения ретровирусов свидетельствуют о реальной возможности горизонтального переноса генов у эукариот [29]. Таким образом, при осуществлении глобальной инвазии палеовирусов имеются необходимые и достаточные условия для развития глобальных критических экологических явлений. Механизм развития такого кризиса имеет биохимические и физические предпосылки. Реализация данного сценария может привести к инвазионному взрыву и экологическому стрессу глобального масштаба.

Заключение

Приведённая в статье гипотеза – сценарий возможных основных негативных последствий для человеческой популяции наблюдаемых глобальных изменений климата, в частности таяния вечной мерзлоты и связанной с этим явлением палеовирусной инвазией. Теоретической основой этой гипотезы являются представления о криолитосфере как природном банке жизнеспособных палеобиосистем, а также биологически активных и не-

активных палеовирусов, соответствующих генетическому разнообразию разных периодов эволюции биосферы.

Однако угрозу реализации глобальной инвазии палеовирусов, т. е. вторжения в современную биосферу чужеродных для неё палеовирусов неизвестной природы, нельзя проверить опытным путём, поскольку развитие описанной экологической опасности недоступно прямому наблюдению, неизвестен момент её возможного возникновения, а у человечества нет аналогичного опыта. Очевидно, это важнейшая фундаментальная и прикладная проблема. Приведённую концепцию можно рассматривать как физически и биохимически обоснованную, но предупреждающую гипотезу. Её принятие требует проведения углублённых междисциплинарных исследований вирусологов, эпидемиологов, гигиенистов, климатологов, гидрогеологов, гидрологов, технологов, водоснабженцев и других специалистов. Прежде всего это необходимо для выяснения патогенетической значимости различных представителей сообщества палеовирусов, определения реальных условий их реактивации, путей распространения и объектов возможного поражения. Только на этой основе можно подойти к оценке степени необходимости и составу комплекса профилактических мероприятий медико-экологической, социально-экологической и технико-технологической направленности. Авторы настоящего сообщения представляют необходимый состав исследований обозначенной проблемы. По своему характеру это широкий комплекс теоретических, экспериментальных и натурных экспедиционных работ, требующих разработки специальных методических подходов и методов изучения, создания и применения новейшего специального аппаратного обеспечения, участия большого числа специалистов смежного профиля, достаточного финансирования. Предпосылки для организации и проведения такого рода исследований на основе единой научной программы, по крайней мере, фундаментального академического уровня, заложены в новой комплексной научной дисциплине – медицинской гидрогеологии [21], важным разделом которой становится самостоятельное научное направление – палеовирусология.

Долевое участие авторов по 50%.

Финансирование. Работа выполнена при финансовой поддержке Российской фонда фундаментальных исследований в рамках проекта № 16-05-00553 и Российского научного фонда в рамках проекта № 14-17-00791.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература

(п.п. 1, 3, 4, 7–9, 14, 17, 19, 28 см. References)

- Дзюба А.В., Зекцер И.С. Изменения климата и многолетнемерзлые породы: прямые и обратные связи. *Доклады Академии наук*. 2009; 429 (3): 402–5.
- Шатилов А.В., Шмакова Л.А., Губин С.В., Гиличинский Д.А. Жизнеспособные простейшие в вечной мерзлоте Арктики. *Криосфера Земли*. 2010; 16 (2): 69–78.
- Абызов С.С., Бобин Н.Е., Кудряшов Б.Б. Микробиологические исследования ледника в Центральной Антарктиде. *Известия Академии наук СССР. Серия: Биология*. 1979; (6): 828–36.
- Артёмов Т.З., Недачин А.Е., Жолдакова З.И., Сеницына О.О., Гипп Е.К., Буторина Н.Н. и др. Проблема реактивации микроорганизмов в оценке эффективности средств обеззараживания воды. *Гигиена и санитария*. 2010; 89 (1): 15–8.
- Макунин Д. Вернется ли черная оспа? *Тайны XX века*. 2010; (4): 12–4.
- Протодакьянов А.П., Чернявский В.Ф. Республика Саха (Якутия): К вопросу о выживаемости вируса оспы в вечной мерзлоте. *Биотерроризм*. 2002; (3): 26–7.
- Дзюба А.В. Деградация криолитозоны и возможность глобального экологического стресса. В кн.: *Материалы Международной научно-практической конференции «Питьевые подземные воды. Изучение, использование и информационные технологии»*. М.: 2011: 154–72.
- Жданов В.М. *Эволюция вирусов*. М.: Медицина; 1990.
- Агол В.И. Корневая система древа жизни. *Природа*. 2009; (9): 3–11.
- Рахманин Ю.А. Актуализация проблем экологии человека и пути их решения. В кн.: *Материалы Пленума Научного совета Российской Федерации по экологии человека и гигиене окружающей среды*. М.: 2011.
- Протокол по проблемам воды и здоровья к конвенции по охране и использованию трансграничных водотоков и международных озер. Available at: <http://www.bellona.ru/Casefiles/london99>
- Эльпинер Л.И. Медико-экологические аспекты современной гидрогеологии. *Вода: химия и экология*. 2016; (1): 30–5.

22. Соломай Т.В., Каира А.Н. Эпидемиологические особенности водных вспышек инфекций с фекально-оральным механизмом передачи. Available at: <http://solomay.ru/wp-content/uploads/2014/12/PDF-448-Kb.pdf>
23. Морозов П.Н. *Подземный сток и методы его определения. Конспект лекций*. Ленинград; 1975.
24. Данилов-Данильян В.И., Зектер И.С. Ресурсы подземных вод и возможности их использования в Арктической зоне России. *Современные производительные силы. Спецвыпуск: Арктика, Стратегия и приоритеты развития*. 2015; (3): 103–12.
25. Соловьёв А.В., Степанова О.А., Соловьёва Е.А. Явление освоения in vitro вирусами прокариотов с суши эукариотов-гидробионтов. *Сборник Донецкого национального университета*. 2008; (2): 431–3.
26. Степанова О.А. Загрязнение морских рыб вирусами, занесенными с суши. *Рыбное хозяйство Украины*. 2004; (2): 33–4.
27. Букринская А.Г. *Вирусология*. М.: Медицина; 1986.
28. Шестаков С.В. Горизонтальный перенос генов у эукариот. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2009; 13 (20): 345–54.
11. Makunin D. Is smallpox return? *Tayny XXveka*. 2010; (4): 12–4. (in Russian)
12. Protod'yakov A.P., Chernyavskiy V.F. The Republic of Sakha (Yakutia): On the question of the survival of the smallpox virus in the permafrost. *Bioterrorizm*. 2002; (3): 26–7. (in Russian)
13. Dzyuba A.V. Degradation of the permafrost zone and the possibility of global environmental stress. In: *Materials of the International Scientific and Practical Conference Drinking Groundwater: Study, Use and Information Technologies* [Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Pit'evye podzemnye vody. Izuchenie, ispol'zovanie i informatsionnye tekhnologii»]. Moscow; 2011: 154–72. (in Russian)
14. Wimmer E., Hellen C.U., Cao X. Genetics of poliovirus. *Annu. Rev. Genet.* 1993; 27: 353–436.
15. Zhdanov V.M. *The Evolution of Viruses [Evolutsiya virusov]*. Moscow: Meditsina; 1990. (in Russian)
16. Agol V.I. The root system of the tree of life. *Priroda*. 2009; (9): 3–11. (in Russian)
17. Kushner D., ed. *Microbial Life in Extreme Environments*. London: Academic Press; 1980.
18. Rakhmanin Yu.A. Actualization of human ecology problems and their solutions. In: *Materials of Plenum of the Scientific Council for Human Ecology and Environmental Health [Materialy Plenuma Nauchnogo soveta Rossiyskoy Federatsii po ekologii cheloveka i gigiene okruzhayushchey sredy]*. Moscow; 2011. (in Russian)
19. Elpiner L.I. Medical and ecological significance of the water factor. In: *Geology and Ecosystems*. New York: Springer USA; 2005: 219–28.
20. Protocol on Water and Health to the 1992 Convention on the Protection and Use of Transboundary Watercourses and International Lakes. Available at: http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0007/88603/E89602.pdf?ua=1
21. El'piner L.I. Medical and ecological aspects of modern hydrogeology. *Voda: khimiya i ekologiya*. 2016; (1): 30–5. (in Russian)
22. Solomay T.V., Kaira A.N. Epidemiological features of water outbreaks of infections with fecal-oral mechanism of transmission. Available at: <http://solomay.ru/wp-content/uploads/2014/12/PDF-448-Kb.pdf> (in Russian)
23. Morozov P.N. *Underground Drainage and Methods for Its Determination. Lecture Notes [Podzemnyy stok i metody ego opredeleniya. Konspekt lektsiy]*. Leningrad; 1975. (in Russian)
24. Danilov-Danil'yan V.I., Zektser I.S. Groundwater resources and their possible use in the Arctic zone of Russia. *Sovremennye proizvoditel'nye sily. Spetsvyпуск: Arktika, Strategiya i prioritety razvitiya*. 2015; (3): 103–12. (in Russian)
25. Solov'ev A.V., Stepanova O.A., Solov'eva E.A. The phenomenon of the development of in vitro viruses prokaryotes eukaryotes from the land-aquatic animals. *Sbornik Donetskogo natsional'nogo universiteta*. 2008; (2): 431–3. (in Russian)
26. Stepanova O.A. Pollution of marine fish viruses, included with sushi. *Rybnoe khozyaystvo Ukrainy*. 2004; (2): 33–4. (in Russian)
27. Bukrinskaya A.G. *Virology [Virusologiya]*. Moscow: Meditsina; 1986. (in Russian)
28. Ochman H., Lawrence J.G., Groisman E.A. Lateral gene transfer and the nature of bacterial innovation. *Nature*. 2000; 405: 299–304.
29. Shestakov S.V. Horizontal gene transfer in eukaryotes. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii*. 2009; 13 (20): 345–54. (in Russian)

Поступила 20.09.16

Принята к печати 16.01.17

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2017

УДК 613.5:628.8

Аликбаева Л.А., Колодий С.П., Бек А.В.

ГИГИЕНИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА КЛАССА ОПАСНОСТИ ОТХОДОВ ДОРОЖНО-АВТОМОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, 191015, г. Санкт-Петербург

Цель исследования – гигиеническая оценка отходов дорожно-автомобильного комплекса (ДАК) для обоснования рекомендаций по обращению с ними на урбанизированных территориях.

Материал и методы. Объектом изучения явились отходы ДАК четырех городов России – Санкт-Петербурга, Челябинска, Перми и Уфы. Программа исследований включала анализ химического состава отходов ДАК; определение класса опасности отходов для здоровья человека по СП 2.1.7.1386–03 «Санитарные правила по определению класса опасности токсичных отходов производства и потребления» (2003) и расчет класса опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду в соответствии с «Критериями отнесения отходов к I–V классам опасности по степени негативного воздействия на окружающую среду» (2014).

Результаты. В исследуемых пробах отходов ДАК Санкт-Петербурга, Перми, Челябинска и Уфы основным компонентом является диоксид кремния (до 92%). Содержание в отходах ДАК семи химических веществ I-го и 2-го класса опасности превышало их предельно допустимые концентрации (ПДК) в почве: меди – в 10–35 раз,