



## Интродукция неместных микроорганизмов: какую опасность они представляют для экосистем Антарктики?

### Authors

Don Cowan, University of Pretoria, Hatfield, Pretoria, South Africa. don.cowan[at]up.ac.za.

Kevin Hughes, British Antarctic Survey, Cambridge, United Kingdom

Stephen Pointing, Yale-NUS College, Singapore

Gabriel Mataloni, Universidad Nacional de General San Martín, Buenos Aires, Argentina

Jenny Blamey, Biociencia Fundación Científica y Cultural, Ñuñoa, Santiago, Chile

Weidong Kong, Institute of Tibetan Plateau Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing, China

DOI: 10.18124/D40S5T

### Brief Overview

Биоразнообразие и первозданные ценности Антарктики потенциально находятся под угрозой интродукции неместных видов, привнесённых из ряда источников, в том числе в результате человеческой деятельности. В то время как уже существуют средства контроля интродукции растений и беспозвоночных, пока ещё уделяется ограниченное внимание микроорганизмам, которые составляют значительную часть наземной биомассы Антарктики и в высокой степени подвержены рассеиванию. Недостаток информации и возможное воздействие в условиях потепления климата указывают на то, что данному вопросу следует отдать более высокий научно-исследовательский приоритет, в частности в свободных ото льда районах, в которых отмечается более обширная среда обитания микроорганизмов для колонизации.

### Detailed Overview

Микроорганизмы, в том числе бактерии, археи, водоросли, грибки, вирусы и микроэукариоты, обычно составляют большую часть биомассы и биоразнообразия наземных и пресноводных экосистем Антарктики, в особенности климатически жёстких сред обитания, в которых высшие организмы не могут выжить<sup>1</sup>. Градиенты почвы и химия, разные геологические субстраты, ветровой режим и выпадение осадков образуют сложное взаимодействие, формируя мозаику особых сообществ по всему континенту<sup>2</sup>. Относительная простота наземных экосистем Антарктики делает их особо ценными с научной точки зрения для понимания более сложных систем, существующих в других регионах земного шара. Методы молекулярной биологии показали наличие многочисленных эндемичных видов в Антарктике (см., например: 3), которые являются потенциальным источником новых генов, генетических продуктов и соединений<sup>4</sup>. Здесь мы рассматриваем как актуальность, так и практические вопросы касательно важности

будущего предотвращения интродукции микроорганизм или перераспределения микроорганизмов в окружающей среде Антарктики.

#### *Внедряющиеся виды микроорганизмов: степень изученности*

Чужеродные микроорганизмы, а также споры и другие пропагулы, прикрепленные к частицам пыли и аэрозолей, постоянно высеваются в континентальных (и морских) системах Антарктики<sup>5</sup>.<sup>6</sup> Перемещение видов животных, в том числе людей, в Антарктику и субантарктическую зону может облегчить перенос микроорганизмов из более низких широт<sup>7</sup>. Анализ фотоавтотрофной биогеографии Антарктики выявил, что, в то время как изменения климата разрушали физические барьеры распространения видов растений в Антарктике, временные, микроклиматические и эволюционные движущие силы остались существенными факторами ограничения инвазивной колонизации фотоавтотрофными бактериями и водорослями<sup>8</sup>. В условиях отсутствия человеческой деятельности эти механизмы предположительно проявляли активность на протяжении всей продолжительности существования континента в его полярном положении, изменяясь в зависимости от перемен в макроклиматических условиях.

На протяжении последнего столетия всё возрастающее присутствие человека на континенте и в окружающих его океанах в неподдающейся количественному исчислению степени приумножило перенос чужеродных микроорганизмов в Антарктический регион. Выбросы неочищенных канализационных вод с сопутствующими чужеродными микроорганизмами являются источником интродукции видов в морскую среду на территориях, прилегающих к некоторым антарктическим научно-исследовательским станциям, в то время как отходы жизнедеятельности человека по-прежнему присутствуют в некоторых прибрежных и внутриматериковых районах<sup>9, 10, 11</sup>. Кроме того, молекулярные биологические исследования переноса микроорганизмов по воздуху выявили потенциальное распространение ряда антропогенных микроорганизмов с отдельной антарктической научно-исследовательской станции<sup>12</sup>, а в результате научно-исследовательской деятельности происходит неизбежное распространение микроорганизмов, переносимых человеком, в отдалённые районы, исключительно из-за присутствия в них людей<sup>13</sup>.

Пока ещё нет достоверных количественных данных касательно доли «естественного» или антропогенного поступления микроорганизмов на антарктический континент или на прилегающие к нему территории. Первоначальная попытка провести количественную оценку воздействия отдельных видов человеческой деятельности<sup>13</sup> была недостаточно продуманной, однако дала основания предполагать, что человеческая деятельность на отдельных участках с высоким уровнем воздействия (например, на территории полевых лагерей в свободных ото льда районах) может привнести чужеродный клеточный материал в пределах того же порядка, что и неизменная биомасса местных микроорганизмов. Последствия такого загрязнения недостаточно понятны, однако они могут привести к появлению длительных молекулярных сигналов, связанных с чужеродными микроорганизмами.

#### *Антропогенные механизмы переноса; внутри- и межконтинентальные*

Почва может служить источником разнообразных микроорганизмов, а интродукция и перемещение почв между свободными ото льда районами может привести к переносу микроорганизмов. Согласно Протоколу по охране окружающей среды к Договору об Антарктике (Приложение II – Сохранение антарктической фауны и флоры), необходимо в максимально возможной степени избегать интродукции нестерильной почвы и предпринимать меры по предотвращению интродукции неместных микроорганизмов. Тем не менее, возможна случайная интродукция неантарктической почвы, принесённой вместе с ввозимыми для потребления людьми корнеплодами, а также с грузами или оборудованием<sup>14,15</sup>. Ранее интродукция неантарктической почвы для трансплантационных экспериментов и в садоводческих целях привела к появлению на некоторых участках неместных видов растений и беспозвоночных, при этом существует вероятность одновременной интродукции неместных микроорганизмов<sup>16</sup>.

Были определены уникальные биогеографические регионы Антарктики для макроскопических видов, при этом существуют доказательства аналогичных или ещё больших географических различий в биоразнообразии микроорганизмов<sup>17</sup>. Количественная оценка уровней обмена микроорганизмами между отдельными районами не проводилась, однако районы с обширными сплошными участками свободной ото льда почвы, такие как Сухие долины Мак-Мёрдо, могут подвергаться особой опасности<sup>11</sup>. Непрерывно расширяющееся расширение следов человеческой деятельности в Антарктике приводит к тому, что количество районов, которые ранее считались первозданной средой обитания и в которых могут в полной мере использоваться более тщательно разработанные передовые методы научных исследований, продолжит сокращаться<sup>4</sup>.

В то время как распространение микроорганизмов в значительной степени связано со случайными событиями местного масштаба (штормами), существует необходимость в проведении более обширного анализа ветра с обратной траекторией в сочетании с массивным упорядочиванием аэрозольных бактериальных сообществ в более широких диапазонах высот для усовершенствования нашего понимания качественных и количественных характеристик внутри- и межконтинентальных механизмов переноса<sup>6</sup>.

#### Факторы риска

Недостаток исследований затрудняет прогнозирование воздействия или количественную оценку факторов риска интродукции неместных микроорганизмов. Тем не менее, существует три основных проблемных аспекта:

- 1) Интродукция новых и агрессивных видов может привести к изменениям в структуре сообщества микроорганизмов и значительной утрате биоразнообразия (несмотря на то, что большинство интродуцированных видов из более низких широт скорее всего не смогут эффективно функционировать в сложившихся климатических условиях Антарктики).

2) Нарушение переплетения микроорганизмов может привести к необратимым изменениям в биогеохимических путях распространения с возникновением последствий для круговорота питательных веществ и функций экосистем<sup>18</sup>.

3) Интродукция антибиотикоустойчивых генов может иметь непредвиденные последствия, а интродуцированные патогенные микроорганизмы могут стать причиной заболеваний среди диких животных, однако о доле поступления вызывающих заболевания микроорганизмов по естественным каналам, например, с залётными птицами, известно немного<sup>7</sup>.

На сегодняшний день имеется очень мало информации об интродукции микроорганизмов в поверхностные пресноводные водоёмы или в морскую среду, однако методам предотвращения интродукции микроорганизмов в подледниковые водоёмы было уделено значительное внимание, например, в Кодексе поведения при проведении исследований подледниковой водной среды, разработанном СКАР<sup>19</sup>.

Существует несколько очевидных возможных мер по снижению уровня воздействия, однако их реализация представляет определённую сложность. Уровень воздействия человеческой деятельности можно было бы существенно снизить путём реализации жёстких мер по обеспечению биологической безопасности (например, обязательное ношение туристами и наземными антарктическими исследователями защитной одежды), как это рекомендуется в некоторых особых районах и при определённых обстоятельствах в Кодексе поведения при осуществлении деятельности на наземных участках геотермальной активности в Антарктике, разработанном СКАР (XXXIX КСДА, Рабочий документ WP23). За исключением очень специфических участков эта рекомендация выглядит весьма малопримемой и практически невыполнимой. Однако основной причиной проявления осторожности в настоящее время является отсутствие данных по относительно поступлению чужеродных микроорганизмов из «естественных» процессов и в результате антропогенной деятельности, будь то в качественном (какие организмы?) или количественном (сколько их?) выражении. Если число первых на порядок больше, чем последних, то меры по снижению уровня антропогенного воздействия могут быть неадекватными.

Как и в других областях, срочно необходимы данные по (i) точным механизмам поступления чужеродных микроорганизмов в экосистемы Антарктики (ii) показателям этих поступлений. Только с помощью этих данных будет проведена строгая оценка важности этого вопроса. Недавно сформированная группа СКАР «Аэриобиология в Антарктике», должна разработать общеконтинентальную динамическую аэриобиологическую карту, которая, в случае оказания поддержки путём проведения количественной оценки биомассы, позволит вычислить реалистичные показатели поступлений микроорганизмов в окружающую среду Антарктики по воздуху<sup>20</sup>.

## Справочная литература

1. D.A. Cowan (ed). *Antarctic terrestrial microbiology – physical and biological properties of Antarctic soils*. Springer, Heidelberg. (2014). [LINK](#)
2. E.R. Sokol, C.W. Herbold, C.K. Lee et al. Local and regional influences over soil microbial metacommunities in the Transantarctic Mountains. *Ecosphere* **4** (2013). doi: [10.1890/ES13-00136.1](#)
3. S.B. Pointing, Y. Chan, D.C. Lacap, Lau MCY, J. Jurgens, R.L. Farrell. Highly specialized microbial diversity in hyper-arid polar desert. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* **106**, 19964-19969. (2009). doi: [10.1073/pnas.0908274106](#)
4. K.A. Hughes, D.A. Cowan, A. Wilmotte. Protection of Antarctic microbial communities – ‘Out of sight, out of mind’. *Frontiers in Microbiology*. 6pp. (2015). doi: [10.3389/fmicb.2015.00151](#)
5. D.A. Pearce, P.D. Bridge, K. Hughes, B. Sattler, R. Psenner, N.J. Russell. Microorganisms in the atmosphere over Antarctica. *FEMS Microbiology Ecology* **69**, 143-157. (2009). doi: [10.1111/j.1574-6941.2009.00706](#)
6. E.M. Bottos, A.C. Woo, P. Zawar-Reza, S.B. Pointing, S.C. Cary. Airborne bacterial populations above desert soils of the McMurdo Dry Valleys, Antarctica. *Microbial Ecology* **67**, 120-128. (2014). doi: [10.1007/s00248-013-0296](#)
7. K.R. Kerry, M. Riddle (eds). *Health of Antarctic Wildlife*. Springer, Berlin & Heidelberg. (2009). [LINK](#)
8. S.B. Pointing, B. Budel, P. Convey, L.N. Gillman, C. Korner, S.L. Leuzinger, W.F. Vincent. Biogeography of photoautotrophs in the high polar biome. *Frontiers in Plant Science* **11**. (2015). doi: [10.3389/fpls.2015.00692](#)
9. M.A. Connor. Wastewater treatment in Antarctica. *Polar Record* **44**, 165-171. (2008). doi:[10.1017/S003224740700719X](#)
10. K.A. Hughes, S. Nobbs. Long-term survival of human faecal microorganisms on the Antarctic Peninsula. *Antarctic Science* **16**, 293-297. (2004). doi: [10.1017/S095410200400210X](#)
11. D.A. Cowan, L. Chown, P. Convey, M. Tuffin, K.A. Hughes, S. Pointing, W.F. Vincent. Non-indigenous microorganisms in the Antarctic – assessing the risks. *Trends in Microbiology* **19**, 540-548. (2011). doi: [10.1016/j.tim.2011.07.008](#)
12. D.A. Pearce, K.A. Hughes, T. Lachlan-Cope, S.A. Harangozo, A.E. Jones. Biodiversity of air-borne microorganisms at Halley station, Antarctica. *Extremophiles* **14**, 145-159. (2010). doi: [10.1007/s00792-009-0293-8](#)
13. J.J. Smith, M.J. Riddle. Sewage disposal and wildlife health in Antarctica. In K.R. Kerry, M. Riddle, eds. *Health of Antarctic Wildlife*. Springer, Berlin & Heidelberg. 271-315. (2009). [LINK](#)
14. K.A. Hughes, P. Convey, N.R. Maslen, R.I.L. Smith. Accidental transfer of non-native soil organisms into Antarctica on construction vehicles. *Biological Invasions* **12**, 875-891. (2010). doi: [10.1007/s10530-009-9508-2](#)
15. K.A. Hughes, J.E. Lee, M. Tsujimoto, S. Imura, D.M. Bergstrom, C. Ware et al. Food for thought: risks of non-native species transfer to the Antarctic region with fresh produce. *Biological Conservation* **144**, 1682–1689. (2011). doi: [10.1016/j.biocon.2011.03.001](#)
16. K.A. Hughes, L.R. Pertierra, M. Molina-Montenegro, P. Convey. Biological invasions in Antarctica: what is the current status and can we respond? *Biodiversity and Conservation* **24**, 1031–1055. (2015). doi: [10.1007/s10531-015-0896-6](#)
17. E. Yergeau, K. Newsham, D. Pearce, G. Kowalchuk. Patterns of bacterial diversity across a range of Antarctic terrestrial habitats. *Environmental Microbiology* **9**, 2670-2682. (2007). doi: [10.1111/j.1462-2920.2007.01379.x](#)
18. Y. Chan, J. van Nostrand, J. Zhou, S.B. Pointing, R.L. Farrell. Functional ecology of an Antarctic dry valley. *Proceedings of the National Academy of Sciences USA* **110**, 8990-8995. (2013). doi: [10.1073/pnas.1300643110](#)

19. J.C. Prisco, A.M. Achberger, J.E. Cahoon, B.C. Christner, R.L. Edwards, W.L. Jones et al. A microbiologically clean strategy for access to the Whillans Ice Stream subglacial environment. *Antarctic Science* **25**, 637–647. (2013). doi:[10.1017/S0954102013000035](https://doi.org/10.1017/S0954102013000035)
20. D.A. Pearce, I.A. Alekhina, A. Terauds, A. Wilmotte, A. Quesada, A. Edwards et al. Aerobiology over Antarctica – A new initiative for atmospheric ecology. *Frontiers in Microbiology* **7**, 16. (2016). doi: [10.3389/fmicb.2016.00016](https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.00016)