

УДК: 911.9(502.5)

DOI: 10.35595/2414-9179-2024-1-30-23-36

Т. М. Красовская¹, А. В. Евсеев², М. В. Слипечук³, С. К. Белоусов⁴

ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ КОНФЛИКТОВ В АНТАРКТИДЕ НА ФОНЕ УСИЛЕНИЯ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ И ИЗМЕНЕНИЙ КЛИМАТА

АННОТАЦИЯ

На основании анализа тематических публикаций, статистических и правовых материалов, собственного опыта полевых исследований в полярных широтах рассматривается проблема возникновения потенциальных экологических конфликтов в Антарктиде на фоне усиления антропогенного воздействия и современного потепления климата. Освещаются юридические документы, регулирующие статус Антарктиды как объекта международных научных исследований. Показана опасность утраты этого статуса для сохранения экосистем Антарктиды. Рассмотрены современные факторы, увеличивающие антропогенную нагрузку на материковые экосистемы: увеличение численности постоянного и временного населения за счет роста числа исследовательских станций и туризма; развитие инфраструктуры научных станций (транспортной, очистных сооружений, теплоснабжения и т. п.); различные проявления локального загрязнения и выпадения загрязняющих веществ в результате дальнего атмосферного переноса; механические нарушения, связанные со строительством дорог; рекреационная дигрессия; занос инвазивных видов растений и др. Отмечено начало формирования очагового селитебного и рекреационного природопользования, создающих угрозу биоразнообразию. Рассматривается потенциальная угроза сохранению экосистем при разделе Антарктиды на национальные сектора и начале разработки полезных ископаемых. Текущие антропогенные изменения анализируются на фоне потепления климата, которое идет в два раза быстрее общемирового. Проведен пространственный анализ наблюдаемых антропогенных и климатически обусловленных изменений, создающих кумулятивный эффект. На основании полученных материалов была составлена карта территорий, где возможно возникновение экологических конфликтов разного генезиса. Сделана попытка определить необходимую площадь экологического каркаса при усилении хозяйственного освоения материка, основанная на опыте аналогичных исследований в Арктике. Допустимая площадь хозяйственного освоения оценена в 4,5 % при современной в 2 %.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Антарктида, экологические конфликты, изменение климата, природопользование

¹ Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, географический факультет, Ленинские горы, д. 1, Москва, Россия, 119991, *e-mail*: krasovskt@yandex.ru

² Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, географический факультет, Ленинские горы, д. 1, Москва, Россия, 119991, *e-mail*: avevseev@yandex.ru

³ Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, географический факультет, Ленинские горы, д. 1, Москва, Россия, 119991, *e-mail*: slip@metropol.ru

⁴ Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, географический факультет, Ленинские горы, д. 1, Москва, Россия, 119991, *e-mail*: web-town@mail.ru

Tatiana M. Krasovskaya¹, Alexander V. Evseev², Michail V. Slipenchuk³,
Stanislav K. Belousov⁴

SPATIAL ANALYSIS OF POTENTIAL ENVIRONMENTAL CONFLICTS IN ANTARCTICA AT THE BACKGROUND OF ANTHROPOGENIC PRESSURE INCREASE AND CLIMATE CHANGE

ABSTRACT

The problem of potential environmental conflicts in Antarctica at the background of anthropogenic impact growth and modern climate warming is considered based on the analysis of thematic publications, statistical and legal materials, and own field experience in the polar latitudes. The legal documents regulating the status of Antarctica as an object of international scientific research are highlighted. The danger of losing this conservation status for Antarctic ecosystems is shown. Modern factors that increase the anthropogenic load on continental ecosystems are considered: an increase of permanent and temporary population due to growth of research stations number and tourism, scientific stations infrastructure development (transport, sewage treatment plants, heat supply, etc.), various manifestations of local pollution and deposition of pollutants as a result. The start of nuclei residential and recreational nature management, which pose a threat to biodiversity, was marked. A potential threat to ecosystems' preservation is discussed in the case of Antarctica division into national sectors and mining activities starting. Current anthropogenic changes are analyzed at the background of climate warming, which is twice as fast as the global one. Spatial analysis of the observed anthropogenic and climate-related changes creating a cumulative effect was done. A map of territories with possible environmental conflicts of different genesis, based on the received materials was compiled. An attempt to determine the necessary area for the ecological framework in case of the continent's economic development growth was undertaken, based on the experience of similar research in the Arctic. The permissible area of economic development was estimated at 4.5 %, while the current one was 2 %.

KEYWORDS: Antarctica, ecological conflicts, climate change, nature management

ВВЕДЕНИЕ

Многие десятилетия после открытия Антарктиды в 1820 г. русской экспедицией под руководством Ф. Беллинсгаузена и М. Лазарева этот материк оставался вне экономических, научных и геополитических интересов стран мира. Догадки о его существовании высказывались еще в древнем мире, а в XVI в. уже появилась карта османского адмирала и картографа Пири Рейса, составленная на основе описаний мореплавателей в Южном океане, достаточно точно отображавшая очертания этого материка. Постепенно прилегающая акватория стала все активнее использоваться для рыбного и китобойного промыслов, что привело к открытию многих антарктических островов. Развитие капитализма в конце XIX – начале XX вв. стимулировало возросший интерес многих развитых стран к рас-

¹ Lomonosov Moscow State University, Geographical Faculty, 1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia, e-mail: krasovsktex@yandex.ru

² Lomonosov Moscow State University, Geographical Faculty, 1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia, e-mail: avevseev@yandex.ru

³ Lomonosov Moscow State University, Geographical Faculty, 1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia, e-mail: slip@metropol.ru

⁴ Lomonosov Moscow State University, Geographical Faculty, 1, Leninskie Gory, Moscow, 119991, Russia, e-mail: web-town@mail.ru

ширению своей ресурсной базы путем открытия «новых земель», а за экспедициями в Арктике последовали антарктические: Р. Амундсена, Р. Скотта, Р. Бэрда и др. Научно-техническая революция середины XX в. создала условия для начала научного исследования Антарктиды. В 40–50-х гг. XX в. формируется сеть наземных станций и баз, результатом работы которых явилось открытие, среди прочего, богатых ресурсов топливно-энергетического и минерального сырья, интерес в разработке которых проявили многие государства. Международный договор 1959 г.¹ установил правовой режим и создал систему международного управления антарктическим континентом и рядом примыкающих к нему островов, шельфовых ледников и морских акваторий, отводящую Антарктиде роль «научного полигона». В 1988 г. участники Договора предприняли попытку обсудить возможность добычи полезных ископаемых, которая завершилась принятием соответствующей Конвенции. Однако она так и не вступила в силу, а в 1991 г. был подписан Мадридский протокол², запрещающий разработку полезных ископаемых в Антарктиде. Усиливающийся в XXI в. «ресурсный голод», включая дефицит пресной воды, 90 % запасов которой содержат ледники Антарктиды, побуждает многие страны заявлять свои интересы на хозяйственное использование материка. Процессы потепления климата создают относительно благоприятные условия для этого, усиливая стремление экономического освоения Антарктиды. Это приводит к тенденции постепенной утраты ей статуса территории с неизменной природой. Целью настоящего исследования является пространственный анализ возможности появления зон экологической напряженности разного генезиса в Антарктиде в ближайшие годы в связи с усилением присутствия человека на нем и современных изменений климата.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалами для исследования послужили тематические публикации, картографические материалы Атласа Антарктики (1966 г.), статистические данные международных организаций (UNEP, SCAR Antarctic Digital Database, IPPC и др.), а также опыт подобных работ авторов в Арктике, полевые наблюдения одного из них в Антарктиде во время строительства новой станции «Восток». Основными методами исследования стали системный, геоэкологический и картографический.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Возникновение потенциальных экологических конфликтов в Антарктиде, вероятность которых проявилась в настоящее время, связана с увеличением антропогенного воздействия как на самой территории, так и в мире в целом, т. к. в результате дальнего атмосферного переноса поллютанты попадают в Антарктиду и аккумулируются на этом материке. Провоцируется оно и потеплением климата. Если до середины XX в. Антарктида принадлежала к ненарушенным хозяйственной деятельностью территориям, то в настоящее время уже можно говорить о развитии там очагового природопользования, ядра которого продолжают увеличиваться и количественно, и в пространстве. При этом расширились и виды природопользования: при крупных научных станциях появились ареалы/ядра селитебного, транспортного (аэродромы, дороги), сельскохозяйственного природопользования (тепличные хозяйства), рекреационного (туризм). Туристическому освоению материка и

¹ Установил правовой режим и создал систему международного управления для Антарктиды. Является первым международно-правовым актом, провозгласившим отдельный регион планеты зоной мира, свободной от ядерного и других видов оружия, территорией, где запрещена любая военная деятельность. Электронный ресурс: <http://www.base.garant.ru> (дата обращения 20.02.2024)

² Протокол по охране окружающей среды (1991 г.), является дополнительным правовым документом к Договору об Антарктике. Электронный ресурс: <http://www.pravo.gov.ru> (дата обращения 25.02.2024)

его досягаемости способствовало потепление климата. В XXI в. для многих частей региона отмечается рост среднегодовых температур воздуха, который идет в два раза быстрее общемирового. Каждое десятилетие температура повышается на $0,61 \pm 0,34 \text{ }^\circ\text{C}^1$ [Clem et al., 2020].

Факторы, провоцирующие возникновение экологических конфликтных ситуаций

Основными факторами, способствующими усилению антропогенной нагрузки на природную среду, являются следующие:

- увеличение численности населения;
- расширение территорий, занятых научными станциями и их инфраструктурой;
- локальное загрязнение окружающей среды, сопряженное с работой научных станций и туризмом;
- накопление загрязняющих веществ в результате дальнего атмосферного переноса.

Условно к таким факторам можно отнести и ускоренное таяние ледникового покрова, связанное с антропогенным влиянием на потепление климата. Рассмотрим эти факторы.

Локальное загрязнение природной среды в результате увеличения постоянного (круглогодичного) и временного (сезонного) населения, если к таковому можно отнести сотрудников научных станций, транспортников и т. д. растет с каждым годом. Сезонная численность населения превышает уже 4 000 чел., а постоянная — более 1 000 чел. Наиболее крупные очаги сосредоточения населения на полярных станциях разных стран показаны на рис. 1.

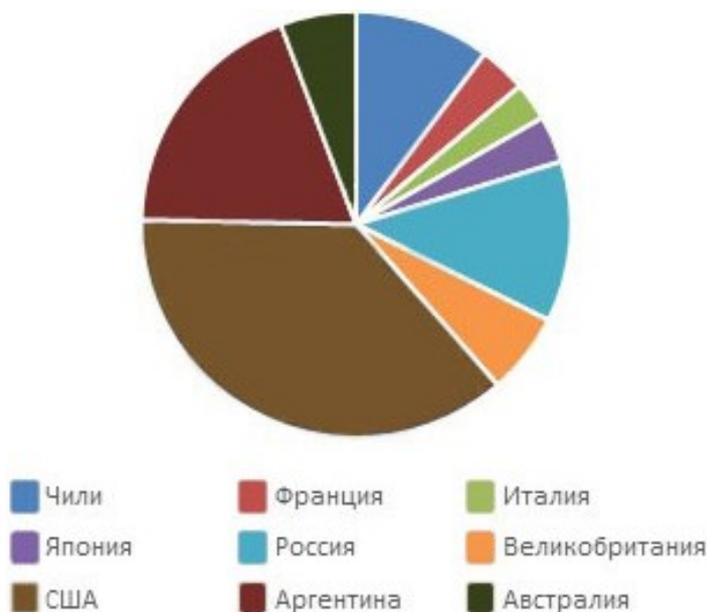


Рис. 1. Распределение персонала наиболее населенных станций в летний сезон. Составлено по данным the World Factbook²
Fig. 1. The distribution of personnel at the most populated stations during the summer season. Based on the World Factbook

¹ IPCC Sixth Assessment Report, 2021. Электронный ресурс: <https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/> (дата обращения 05.12.2023)

² World factbook. Antarctica. CIA (Central Intelligence Agency), 2008. Электронный ресурс: <http://www.cia.gov> (дата обращения 15.03.2024)

Прибывающие на Антарктиду размещаются на 90 научно-исследовательских станциях, включая 7 российских и исключая законсервированные. Около половины всех станций являются сезонными. Они принадлежат России, США, Китаю, Индии, Австралии, Бразилии, Беларуси, Бельгии, Германии, Японии, Украине, Индии, Италии, Франции, Швеции, Великобритании, Южной Корее и другим странам (всего 56 государств). Первая станция была открыта в 1898–1899 гг. на мысе Адэра экспедицией Карстена Борхгревинка. Постройки этой станции сохранилась и используются как туристический объект (рис. 2).



Рис. 2. Хижины экспедиции Борхгревинка на м. Адэр, 1902 г.¹
Fig. 2. Huts of the Borchgrevink expedition on the Adair cape, 1902¹

Бум организации станций пришелся на середину XX в. и продолжился в XXI в. Хотя расселение является очаговым, можно выделить районы его концентрации, большинство из которых находятся в береговой зоне. Общая площадь этих селитебных территорий оценивается в 2 % от всей площади материка². Территории, занятые научными станциями различаются по размеру: самой большой является станция Мак-Мердо (США) площадью 663,7 тыс. м², площадь нового НЗК «Восток» (Россия) — 2,5 тыс. м², «Ноймайер 3» (ФРГ) — 1,8 тыс. м² и т. д. Численность проживающих на станциях работников меняется от зимы к лету (рис. 3).

¹ 360 cities. Электронный ресурс: <https://www.360cities.net> (дата обращения 15.03.2024);
360 cities. Web resource: <https://www.360cities.net> (accessed 15.03.2024)

² World factbook. Antarctica. CIA (Central Intelligence Agency), 2008. Электронный ресурс: <http://www.cia.gov> (дата обращения 15.03.2024)

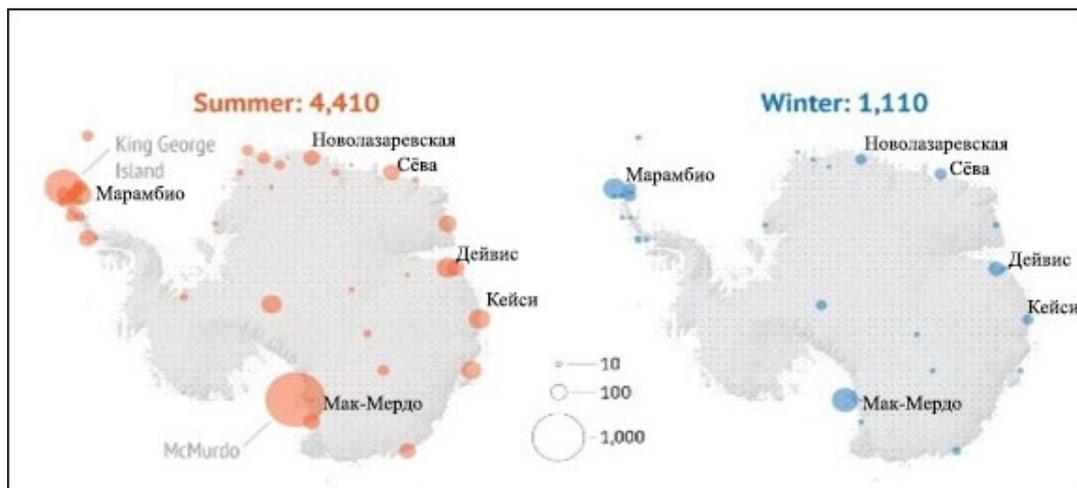


Рис. 3. Сезонная численность работников научных станций (2019)¹
Fig. 3. Seasonal number of employees of scientific stations (2019)¹

Еще более внушительный прирост временного населения произошел в результате туризма, начало развития которого относится к 50–60-м гг. XX в. В летний сезон (с конца октября по начало апреля) с 2010 по 2020 г. отмечалось увеличение потока туристов на 134 % [Cajiao et al., 2021]. В сезон 2022–2023 гг. число туристов составило уже 104 897 чел.² [Impacts..., 2023; Stoeckl et al., 2024]. Наиболее посещаемый участок — Антарктический полуостров (до 90 % всех прибывающих³) [Афанасьев, 2022] (рис. 4).

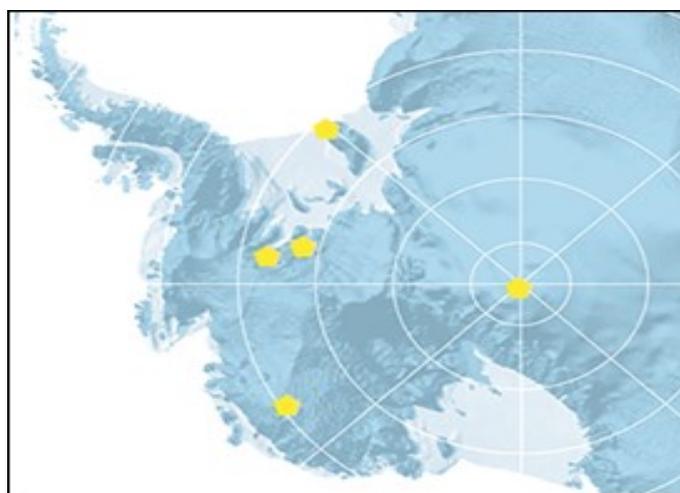


Рис. 4. Популярные туристические дестинации⁴
Fig. 4. Popular tourist destinations⁴

¹ Электронный ресурс: <https://sashamaps.net/docs/maps/population-of-antarctica/> (дата обращения 10.03.2024); Web resource: <https://sashamaps.net/docs/maps/population-of-antarctica/> (accessed 10.03.2024)

² Impacts of tourism in Antarctica. IUCN issues brief, 2023, June. Электронный ресурс: <http://www.IUCN.org> (дата обращения 05.01.2024)

³ IAATO — International Association of Antarctica Tour Operators. Электронный ресурс: <http://www.iaato.org>. (дата обращения 20.12.2023)

⁴ Электронный ресурс: <https://antarctic-logistics.com> (дата обращения 18.02.2024); Web resource: <https://antarctic-logistics.com> (accessed 18.02.2024)

Посещение может ограничиваться несколькими часами, но может длиться и дольше, когда туристы на самолете перебрасываются на какую-либо научную станцию для знакомства с работой полярников и размещаются там. В Антарктиде имеется туристический кемпинг Юнион Глейшир — палаточный лагерь, расположенный на хребте Наследия на леднике Юнион (рис. 5). Его вместимость — до 160 человек.

Ледник Юнион является местом проведения ежегодного Антарктического ледяного марафона. Несмотря на попытки регламентации туристических занятий, увеличивающееся число посетителей способствует развитию рекреационной дигрессии, т. к. механически нарушает целостность наземного растительного покрова (лишайников, злаков в местах высадки на берег с круизных судов), является фактором беспокойства для птиц и т. п. Кроме того, туристы создают дополнительную нагрузку на инфраструктуру, заносят на одежде и обуви семена инвазивных видов, которые могут вытеснять местные. Выборочное тестирование показало, что в среднем у каждого проверенного туриста обнаруживали около 10 семян в одежде и снаряжении. Среди обнаруженных чужеродных видов были исландский мак, овсяница высокая бархатная и однолетняя озимая — все они произрастают в холодном климате и способны расти в Антарктиде. За время эксперимента было собрано около 2,6 тыс. семян с вещей туристов и ученых [Chown et al., 2012].



Рис. 5. Палаточный лагерь Юнион Глейшир¹

Fig. 5. Union Glacier Campground¹

Селитебные территории продуцируют рост антропогенной нагрузки в результате загрязнения окружающей среды (хотя и в малых количествах, но повсеместно) при сжигании дизельного топлива для отопления и работы транспорта, сброса сточных вод. Исследования 2005 г. выявили, что сточные воды сбрасывались без очистки на 37 % постоянных станций и 69 % сезонных [Gröndahl et al., 2009]. Согласно Мадридскому протоколу об охране окружающей среды (1999 г.), все сточные воды подлежат очистке. В сточные воды попадают синтетические поверхностно активные вещества и микропластик, требующие специальных методов очистки, которая не производится. Исследования, проведенные в 2016–2019 гг. у чилийских научных станций на Антарктическом полуострове, показали повышенное содержание сажи в снеге около них (до 3395,7 $\mu\text{g}/\text{kg}$), которое уменьшалось на расстоянии 5–6 км [Cereceda-Balic et al., 2020]. У научных станций Мак-Мердо (США), Карлини (Аргентина), Скотт (Новая Зеландия) и других в снежном покрове были обнаружены концентрации полиароматических углеводородов, в 3 раза превышающие фоновые. В 80–90-х гг. XX в. отходы на большинстве антарктических станций отправлялись на свалки и сжигались вблизи станции, либо сбрасывались в море. Мусор, оставшийся от закрытых станций, топливные баки и пр., несмотря на предпринимаемые усилия, все еще находится в Антарктиде.

¹ Электронный ресурс: <https://www.icetrack.com> (дата обращения 16.02.2024);
Web resource: <https://www.icetrack.com> (accessed 16.02.2024)

Развитие инфраструктуры научных поселений, усиливающее антропогенную нагрузку на природную среду, связано в первую очередь с использованием различных видов транспортных средств, работающих на дизельном топливе (авто- и морской транспорт) и керосине (самолеты). С транспортным использованием топлива происходит поступление в природную среду оксидов азота, углеводородов и прочих загрязняющих веществ. Особую опасность при этом представляют разливы нефтепродуктов, неоднократно происходившие в результате механических повреждений кораблей у берегов Антарктиды. Крупнейшей такой катастрофой был разлив 550 м³ дизельного топлива в 1989 г. с тонущего корабля “Bahia Paraiso” недалеко от побережья научной станции Палмер (США) [Bargagli, 2008]. С кораблями же в прибрежные воды попадает микропластик, поступающий в результате разрушения краски на обшивке кораблей, сбросе сточных вод.

С транспортом связаны механические нарушения подстилающей поверхности (снежной и оттаивавшего грунта). Дороги различной протяженности связывают научные станции. Например, шоссе Мак-Мердо–Южный полюс протянулось на 1 450 км, соединив исследовательские станции Мак-Мердо и Амундсен-Скотт. Дорога была построена уплотнением и выравниванием поверхности снега и засыпанием провалов в леднике. В Антарктиде насчитывается более двух десятков аэропортов, принимающих в т. ч. и тяжелые транспортные самолеты, более 30 станций имеют вертолетные посадочные площадки и взлетно-посадочные полосы, включая гравийные. Их длина на станциях Мак-Мердо, Амундсен-Скотт (США), Кейси (Австралия) достигает 3 048–4 000 м. Подобные антропогенные действия нарушают температурный режим поверхности, активизируют эрозионные процессы в береговых зонах свободных от льда в летний период.

На некоторых научных станциях (Ноймаер 3¹, ФРГ; Мак-Мердо, США; Восток, Россия²) имеются экспериментальные теплицы, в которых выращиваются зеленные и овощные культуры. В результате формируются нуклеарные элементы сельскохозяйственного природопользования.

К местным источникам накопления поллютантов добавляются и *дальний атмосферный перенос* Cr, Cu, Ni, Pb, V, Zn, Hg, хлорорганических соединений, микропластика и т. д., что подтверждается увеличением их концентраций в верхних частях кернов бурения на нескольких станциях в Антарктиде, включая станцию Восток [Bargagli, 2008; Geisz, 2010]. В фирновых кернах на высокогорном ледяном плато Земли Королевы Мод были обнаружены возрастающие с 2000 г. концентрации перфторокарбоновые кислоты (PFCA) [Garnett et al., 2022]. Малое число наблюдений не позволяет пока фиксировать районы, где происходит максимальное накопление аэротехногенных поллютантов в результате дальнего переноса.

Потенциальные разработки полезных ископаемых

Хотя Договор об Антарктике запрещает коммерческую добычу полезных ископаемых на континенте, срок его действия заканчивается в 2048 г., и он может быть пересмотрен, поскольку запасы многих полезных ископаемых на других континентах стремительно истощаются. Заметим, что до подписания договора уже существовали претензии нескольких стран (Австралия, Аргентина, Норвегия, Чили и др.) на секторальное деление материка. В настоящее время число претендентов на раздел увеличилось [Корзун, 2022; McGee et al., 2022]. На материке находится около 900 месторождений рудного сырья, а также залежи угля, нефти и золота (рис. 7). Таяние ледяного покрова вследствие потепления климата облегчает доступ к ресурсам полезных ископаемых, добыча которых может спровоцировать возникновение экологических конфликтов. Потенциальными территориями возник-

¹ EDEN ISS — Executive Summary 12.2014 (дата обращения 15.02.2024)

² Пресс-служба ААНИИ, 2023 (дата обращения 20.02.2024)

новения таких конфликтов в первую очередь являются территории интенсивного таяния ледника, располагающие месторождениями рудных полезных ископаемых.

Потенциальные изменения площадей разрушения ледникового покрова

Глобальные изменения климата сильнее всего проявляются в Западной Антарктиде, где в летний период формируются территории, свободные от ледника (рис. 6). Такие территории представляют собой отличные от обычных условия местообитания многих видов растений и животных. Это происходит за счет изменения температур воздуха, режима увлажнения, интенсивности разложения органических остатков и т. д. Новейшие исследования показывают, что в результате потепления под угрозой находится до 65 % видов растений и животных. Так, быстрое разрушение ледяного покрова приводит к нарушению репродуктивного цикла пингвинов, облегчает вторжение чужеродных видов насекомых (*Eretmoptera murphyi*, *Trichocera maculipennis*) и растений, что грозит исчезновением эндемиков [Antarctic..., 2010; Hughes et al., 2013; Convey et al., 2019; Lee et al., 2022]. Значительные изменения, влияющие на местные виды лишайников, отмечены на молодых моренах, вблизи суши, недавно открытой в результате отступления ледников [Olech et al., 2016]. Повышение температуры облегчает доступность воды для растений, что приводит к увеличению колонизации растений и более сложной структуре экосистемы. Так, фиксируется расширение ареала сосудистых растений — *Deschampsia antarctica* и *Colobanthus quitensis* [Cavieres et al., 2016]. Наибольшие изменения биоразнообразия в результате потепления ожидаются в районе Антарктического полуострова.

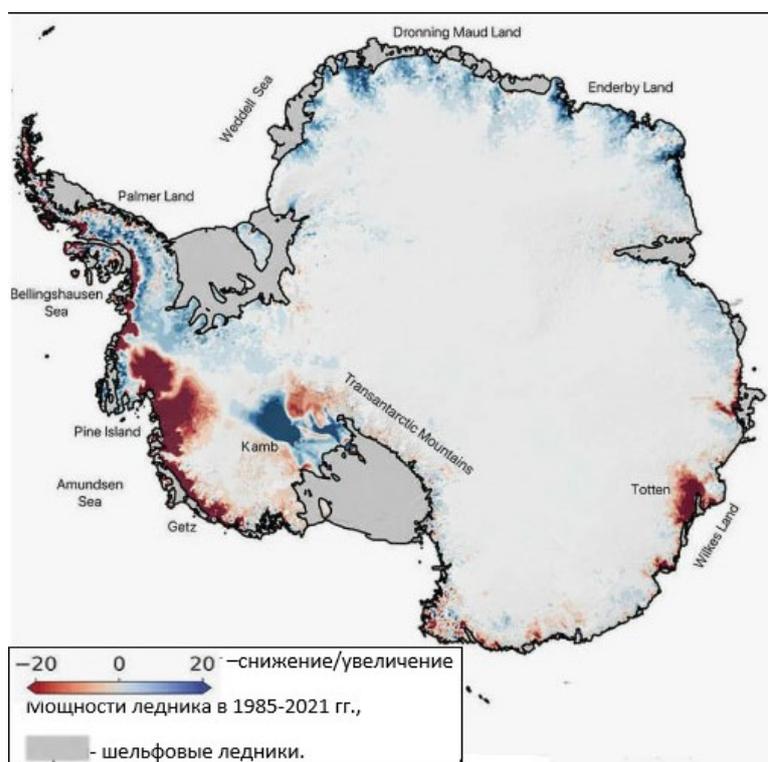


Рис. 6. Районы интенсивного таяния ледникового покрова¹
Fig. 6. Areas of intense melting of the glacial cover¹

¹ NASA. Электронный ресурс: <https://www.jpl.nasa.gov/news/nasa-studies-find-previously-unknown-loss-of-antarctic-ice> (дата обращения 16.02.2024);
NASA. Web resource: <https://www.jpl.nasa.gov/news/nasa-studies-find-previously-unknown-loss-of-antarctic-ice> (accessed 16.02.2024)

Территории потенциальных экологических конфликтов

На основании полученных материалов нами была составлена карта территорий, где возможно возникновение экологических конфликтов разного генезиса (рис. 7).

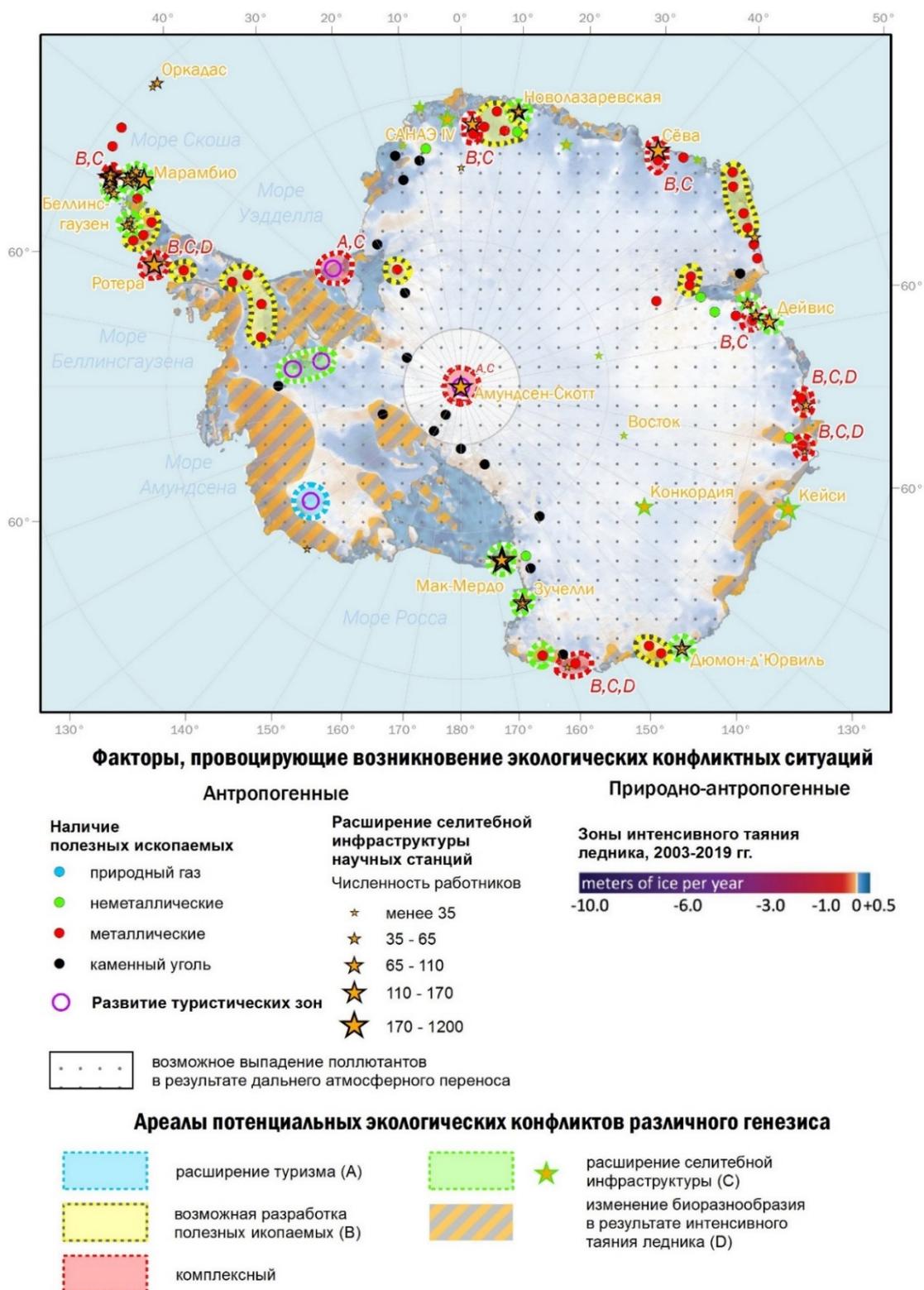


Рис. 7. Территории потенциальных экологических конфликтов различного генезиса
Fig. 7. Territories of potential ecological conflicts of various genesis

На карте методом значков показаны антропогенные и (с использованием непрерывной цветовой шкалы) природно-антропогенные факторы, которые могут провоцировать экологические конфликты, а также ареалы потенциального возникновения таких конфликтов. Недостаточное количество данных пока не позволяет точно воспроизвести на карте ареалы потенциальных экологических конфликтов, их границы в значительной степени условны и показаны штриховой обводкой. Выявление и картографирование таких территорий, однако, важно для акцентирования внимания на необходимости их комплексного геоэкологического анализа. В районах малой плотности научных станций в силу масштаба ареалы расширения селитебной инфраструктуры даны внесмасштабными значками. При выделении потенциальных конфликтов, связанных с перспективами добычи полезных ископаемых, основное внимание уделялось месторождениям руд металлов, вызывающих наибольший интерес. Учитывалась также и доступность таких месторождений. Районы активного таяния ледникового щита были обозначены как территории потенциальных изменений биоразнообразия. Определить ареалы максимального осаждения поллютантов дальнего атмосферного переноса с достаточной достоверностью невозможно, т. к. мониторинговые данные пока единичны. Однако сухое и влажное осаждение таких поллютантов возможно повсеместно, но с разной интенсивностью, связанной с атмосферной циркуляцией.

ВЫВОДЫ

Усиление антропогенной нагрузки на материк Антарктиды на фоне потепления климата создает кумулятивный эффект возникновения потенциальных экологических конфликтов. Расширение свободных от ледника прибрежных территорий в летний период облегчает их освоение, увеличивает сезон транспортной доступности для исследователей и туристов. Это ведет к расширению очагов селитебного природопользования как за счет площадей научных станций и кемпингов, так и за счет разрастания их инфраструктурных объектов (топливных баз, аэродромов и т. п.). Потепление климата расширяет возможности добычи полезных ископаемых, на которую уже претендует ряд государств. Существенные изменения прогнозируются и для биоразнообразия.

Возможность предупреждения возникновения экологических конфликтов связана, кроме нормативного регулирования антропогенной нагрузки, с определением необходимых площадей экологического каркаса. Разработок такого плана пока нет. Однако можно воспользоваться существующим опытом для Арктики. Для этого региона площадь освоения, рекомендованная Арктическим Советом¹, составляет 15 %, остальное формирует экологический каркас. Эта цифра определена в результате анализа возможности восстановления нарушенных экосистем, скорость которой определяется интенсивностью биогеохимического круговорота, зависящего, главным образом, от теплообеспеченности в летний период. Для Антарктиды она более, чем на 30 % ниже, т. е. зона бесконфликтного экологического освоения также окажется ниже 4,5 % (в настоящее время она находится в пределах 2 %). Заметим, однако, что определение безопасной площади освоения требует проведения специальных исследований.

¹ Арктический совет (Arctic Council) — международная организация, призванная содействовать сотрудничеству в области охраны окружающей среды и обеспечения устойчивого развития приполярных районов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Афанасьев О. Е. Туризм в Антарктическом регионе: полюс геополитических интересов. Современные проблемы сервиса и туризма, 2022. № 16(1). С. 89–112. DOI: 10.24412/1995-0411-2022-1-89-112.

Корзун В. А. Оценка возможностей использования ресурсов Антарктики. М.: ИМЭМО РАН, 2009. 116 с.

Antarctic seabird ecology. Dissertations, Theses, and Masters Projects. William & Mary, 2010. Paper 1539616664. DOI: 10.25773/v5-ray3-0h78.

Bargagli R. Environmental contamination in Antarctic ecosystems. Science of the total environment, 2008. No. 400. P. 212–226.

Cajiao D., Benayas J., Tejedo P., Leung Y.-F. Adaptive management of sustainable tourism in Antarctica: a rhetoric or working progress? Sustainability, 2021. V. 13. Iss. 14. No. 7649. DOI: 10.3390/su13147649.

Cavieres L. A., Sáez P., Sanhueza C. Ecophysiological traits of Antarctic vascular plants: their importance in the responses to climate change. Plant Ecology, 2016. V. 217. P. 343–358. DOI: 10.1007/s11258-016-0585-x.

Cereceda-Balic F., Vidal V., Ruggeri M.-F., González H. Black carbon pollution in snow and its impact on albedo near the Chilean stations on the Antarctic peninsula: first results. Science of the total environment, 2020. V. 743. No. 140801. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140801.

Chown S., Huiskes A.-H, Gremmen N., Lee J., Terauds A., Crosbie K., Frenot Y., Hughes K., Imura S., Kiefer K., Lebouvier M., Raymond B., Tsujimoto M., Ware C., Van de Vijver B., Bergstrom M. Continent-wide risk assessment for the establishment of nonindigenous species in Antarctica. Proceedings of the National Academy of Sciences, 2012. V. 109. No. 13. P. 4938–4943.

Clem K. R., Fogt R. L., Turner B., Gareth J., Miller J., Renwick J. Record warming at the South Pole during the past three decades. Nature Climate Change, 2020. No. 10. P. 762–770. DOI: 10.1038/s41558-020-0815-z.

Convey P., Peck L. Antarctic environmental change and biological responses. Science Advances, 2019. V. 27. No. 5(11). DOI: 10.1126/sciadv.aaz0888.

Garnett J., Halsall C., Winton H., Joerss H., Mulvaney R., Ebinghaus R., Frey M., Jones A., Leeson A., Wynn P. Increasing Accumulation of perfluorocarboxylate contaminants revealed in an Antarctic firn core (1958–2017). Environmental Science & Technology, 2022. V. 56(16). P. 11246–11255. DOI: 10.1021/acs.est.2c02592.

Geisz H. Persistent organic pollutants (POPs) as tracers of environmental change and Antarctic seabird ecology. Dissertations, Theses, and Masters Projects, 2010. Paper 1539616664. DOI: 10.25773/v5-ray3-0h78.

Gröndahl F., Sidenmark J., Thomsen A. Survey of waste water disposal practices at Antarctic research stations. Polar Research, 2009. V. 28(2). P. 298–306. DOI: 10.3402/polar.v28i2.6109.

Hughes K. A., Worland M. R., Thorne M. The non-native chironomid *Eretmoptera murphyi* in Antarctica: erosion of the barriers to invasion. Biological Invasions, 2013. No. 15. P. 269–281. DOI: 10.1007/s10530-012-0282-1.

Lee J., Waterman M., Shaw J., Bergstrom D., Lynch H., Wall D., Robinson S. Islands in the ice: potential impacts of habitat transformation on Antarctic biodiversity. Global Change Biology, 2022. V. 28(20). P. 5865–5880. DOI: 10.1111/gcb.16331.

McGee J., Edmiston D., Haward M. The Future of Antarctica: Scenarios from Classical Geopolitics. Singapore: Springer, 2022. 199 p. DOI: 10.1007/978-981-16-7095-4.

Olech M., Slaby A. Changes in the lichen biota of the Lions Rump area, King George Island, Antarctica, over the last 20 years. *Polar Biology*, 2016. V. 39. P. 1499–1503. DOI: 10.1007/s00300-015-1863-0.

Stoeckl N., Adams V., Baird R., Boothroyd A., Costanza R., MacDonald D., Finau G., Fulton E., Melbourne-Thomas J., Ooi C.-S., Raghaven M., Senigaglia V., Tian J., Yamazaki S. The value of Antarctic and Southern Ocean ecosystem services. *Nature Reviews Earth and Environment*, 2024. No. 5. P. 153–155. DOI: 10.1038/s43017-024-00523-3.

REFERENCES

Afanas'ev O. E. Tourism in the Antarctic region: a pole of geopolitical interests. *Modern problems of service and tourism*, 2022. No. 16(1). P. 89–112 (in Russian). DOI: 10.24412/1995-0411-2022-1-89-112.

Antarctic seabird ecology. Dissertations, Theses, and Masters Projects. William & Mary, 2010, Paper 1539616664. DOI: 10.25773/v5-ray3-0h78.

Bargagli R. Environmental contamination in Antarctic ecosystems. *Science of the total environment*, 2008, No. 400. P. 212–226.

Cajiao D., Benayas J., Tejedo P., Leung Y.-F. Adaptive management of sustainable tourism in Antarctica: a rhetoric or working progress? *Sustainability*, 2021. V. 13. Iss. 14. No. 7649. DOI: 10.3390/su13147649.

Cavieres L. A., Sáez P., Sanhueza C. Ecophysiological traits of Antarctic vascular plants: their importance in the responses to climate change. *Plant Ecology*, 2016. V. 217. P. 343–358. DOI: 10.1007/s11258-016-0585-x.

Cereceda-Balic F., Vidal V., Ruggeri M.-F., González H. Black carbon pollution in snow and its impact on albedo near the Chilean stations on the Antarctic peninsula: first results. *Science of the total environment*, 2020. V. 743. No. 140801. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.140801.

Chown S., Huiskes A.-H, Gremmen N., Lee J., Terauds A., Crosbie K., Frenot Y., Hughes K., Imura S., Kieffer K., Lebouvier M., Raymond B., Tsujimoto M., Ware C., Van de Vijver B., Bergstrom M. Continent-wide risk assessment for the establishment of nonindigenous species in Antarctica. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2012. V. 109. No. 13. P. 4938–4943.

Clem K. R., Fogt R. L., Turner B., Gareth J., Miller J., Renwick J. Record warming at the South Pole during the past three decades. *Nature Climate Change*, 2020. No. 10. P. 762–770. DOI: 10.1038/s41558-020-0815-z.

Convey P., Peck L. Antarctic environmental change and biological responses. *Science Advances*, 2019. V. 27. No. 5(11). DOI: 10.1126/sciadv.aaz0888.

Garnett J., Halsall C., Winton H., Joerss H., Mulvaney R., Ebinghaus R., Frey M., Jones A., Leeson A., Wynn P. Increasing Accumulation of perfluorocarboxylate contaminants revealed in an Antarctic firn core (1958–2017). *Environmental Science & Technology*, 2022. V. 56(16). P. 11246–11255. DOI: 10.1021/acs.est.2c02592.

Geisz H. Persistent organic pollutants (POPs) as tracers of environmental change and Antarctic seabird ecology. Dissertations, Theses, and Masters Projects, 2010. Paper 1539616664. DOI: 10.25773/v5-ray3-0h78.

Gröndahl F., Sidenmark J., Thomsen A. Survey of waste water disposal practices at Antarctic research stations. *Polar Research*, 2009. V. 28(2). P. 298–306. DOI: 10.3402/polar.v28i2.6109.

Hughes K. A., Worland M. R., Thorne M. The non-native chironomid *Eretmoptera murphyi* in Antarctica: erosion of the barriers to invasion. *Biological Invasions*, 2013. No. 15. P. 269–281. DOI: 10.1007/s10530-012-0282-1.

Korzun V. A. Assessment of the possibilities of Antarctic resources exploitation. Moscow: IMEMO RAN, 2009. 116 p. (in Russian).

Lee J., Waterman M., Shaw J., Bergstrom D., Lynch H., Wall D., Robinson S. Islands in the ice: potential impacts of habitat transformation on Antarctic biodiversity. *Global Change Biology*, 2022. V. 28(20). P. 5865–5880. DOI: 10.1111/gcb.16331.

McGee J., Edmiston D., Haward M. The Future of Antarctica: Scenarios from Classical Geopolitics. Singapore: Springer, 2022. 199 p. DOI: 10.1007/978-981-16-7095-4.

Olech M., Slaby A. Changes in the lichen biota of the Lions Rump area, King George Island, Antarctica, over the last 20 years. *Polar Biology*, 2016. V. 39. P. 1499–1503. DOI: 10.1007/s00300-015-1863-0.

Stoeckl N., Adams V., Baird R., Boothroyd A., Costanza R., MacDonald D., Finau G., Fulton E., Melbourne-Thomas J., Ooi C.-S., Raghaven M., Senigaglia V., Tian J., Yamazaki S. The value of Antarctic and Southern Ocean ecosystem services. *Nature Reviews Earth and Environment*, 2024. No. 5. P. 153–155. DOI: 10.1038/s43017-024-00523-3.
