



DOI 10.22363/2313-0245-2025-30-1-31-54

EDN CYLQSZ

ОБЗОР  
REVIEW

## Хирургическая тактика при тяжелой травме и обморожениях в полярных регионах в условиях ограниченных ресурсов

Т.А. Скурлатов<sup>1, 2</sup>  

<sup>1</sup> Институт клинической медицины им. Н.В. Склифосовского, Первый московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, г. Москва, Российская Федерация

<sup>2</sup> Станция скорой и неотложной медицинской помощи им. А.С. Пучкова, г. Москва, Российская Федерация  
 [timofey.skurlatov@gmail.com](mailto:timofey.skurlatov@gmail.com)

**Аннотация.** *Актуальность.* Тяжелая травма остается одной из ведущих причин предотвратимой смерти в мире. В условиях развитой инфраструктуры стандартом является раннее выполнение окончательного хирургического вмешательства в специализированном центре. В удаленных арктических поселениях, на полярных станциях и судах такая стратегия недостижима из-за дефицита ресурсов, отсутствия специалистов и задержек эвакуации, поэтому хирург и врач общей практики вынуждены принимать критические решения, от которых напрямую зависят исходы лечения. Цель. Обобщить международный опыт оказания хирургической помощи при тяжелой травме и обморожениях в полярных регионах, проанализировать применение принципов damage control surgery/damage control resuscitation (DCS/DCR) и prolonged field care (PFC) в условиях ограниченных ресурсов, а также показать роль телемедицины и сотрудничества в поддержке хирургических решений. *Материалы и методы.* Проведен нарративный (scoping) обзор литературы за 1990–2025 гг. по базам PubMed/MEDLINE, Embase, Scopus, РИНЦ и Cochrane Library, а также по национальным руководствам по военной, полевой и полярной медицине. Включались публикации по DCS/DCR/PFC, полярной хирургии, обморожениям, эвакуации, телемедицине и организации медицинской помощи в Арктике и Антарктике. *Результаты и обсуждение.* Показано, что принципы DCS/DCR, сформировавшиеся в военной хирургии, адаптируемы к полярным условиям и позволяют поэтапно вести пациентов с тяжелой травмой и обморожениями при длительной эвакуации и дефиците ресурсов. Ключевым становится выбор места и объема вмешательства с учетом логистики, возможностей анестезиологии и реанимации, состава команды и рисков эвакуации в сложных метеоусловиях. Обоснована концепция “полярного хирургического модуля” как компактного автономного операционно-реанимационного блока, а также описаны подходы к сортировке и хирургической тактике при обморожениях в условиях длительной изоляции. *Выводы.* Поэтапная тактика лечения травмы с применением DCS/DCR/PFC в полярных регионах позволяет согласовать объем операции с реальными ресурсами и эвакуационными возможностями, снижая риск фатальных осложнений. Обобщенный опыт военно-полевой и полярной хирургии может использоваться при разработке протоколов помощи при тяжелой травме в северных регионах и формировать задел для дальнейших исследований травмы в высокогорных районах и перспективных космических миссиях.

© Скурлатов Т.А., 2026



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

**Ключевые слова:** тяжелая травма; обморожения, полярные регионы, хирургическая тактика, хирургия контроля повреждений (DCS), реанимация контроля повреждений (DCR), пролонгированное полевое ведение (PFC), военно-полевой травматизм, эвакуация, телемедицина, полярная медицина

**Информация о финансировании.** Автор заявляет об отсутствии финансовой поддержки.

**Информация о конфликте интересов.** Автор декларирует отсутствие конфликта интересов.

**Этическое утверждение.** Неприменимо.

**Благодарности.** Неприменимо.

**Информированное согласие на публикацию.** Неприменимо.

Поступила 29.11.2025. Принята 26.12.2025.

**Для цитирования:** Скурлатов Т.А. Хирургическая тактика при тяжелой травме и обморожениях в полярных регионах в условиях ограниченных ресурсов // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина. 2026. Т. 30. № 1. С. 31–54. (in Russ.). doi: 10.22363/2313-0245-2026-30-1-31-54. EDN: CYLQSZ

## Surgical strategy for severe trauma and frostbite in polar regions under limited resource conditions

Timofey A. Skurlatov<sup>1,2</sup>  

<sup>1</sup> Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> A.S. Puchkov Moscow Ambulance and Emergency Medical Care Station, Moscow, Russian Federation  
 timofey.skurlatov@gmail.com

**Abstract. Relevance.** Severe trauma remains one of the leading causes of preventable death worldwide. In well-resourced systems, early definitive surgery in a specialized trauma center is the standard of care. In remote Arctic settlements, polar stations and ships, this approach is often unattainable because of limited equipment and personnel, lack of specialists, and prolonged evacuation delays; therefore, a surgeon or general practitioner must make time-critical decisions that directly determine outcomes. Aim: To summarize international experience in surgical care for severe trauma and frostbite in polar regions, analyze the applicability of damage control surgery/damage control resuscitation (DCS/DCR) and prolonged field care (PFC) in resource-limited settings, and outline the role of telemedicine and inter-facility collaboration in supporting surgical decision-making. *Materials and methods.* A narrative (scoping) review of the literature (1990–2025) was performed using PubMed/MEDLINE, Embase, Scopus, RSCI, and the Cochrane Library, as well as national and institutional guidelines on military, field, and polar medicine. Publications addressing DCS/DCR/PFC, polar surgery, frostbite, evacuation, telemedicine, and organization of medical care in the Arctic and Antarctica were considered. *Results and Discussion.* Principles of DCS/DCR, originating from military surgery, are adaptable to polar conditions and enable staged management of severe trauma and frostbite when evacuation is delayed and resources are scarce. Key determinants include selecting the location and extent of intervention with respect to logistics, anesthesia and

critical care capacity, team composition, and evacuation risk in adverse weather. The concept of a “polar surgical module” is justified as a compact autonomous operating and critical care unit; approaches to triage and surgical tactics for frostbite during prolonged isolation are also discussed. *Conclusion*. A staged strategy using DCS/DCR/PFC in polar regions aligns operative scope with real resources and evacuation capabilities, reducing the risk of fatal complications. The synthesized experience from military-field and polar surgery can inform protocols for severe trauma care in northern regions and provide a foundation for further research in high-altitude environments and prospective space missions.

**Keywords:** severe trauma, frostbite, polar regions, surgical management, damage control surgery, damage control resuscitation, prolonged field care, combat-related trauma, evacuation, telemedicine, polar medicine

**Funding.** The author received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

**Conflicts of interest statement.** The author declares no conflict of interest.

**Ethics approval** — not applicable.

**Acknowledgements** — not applicable.

**Consent for publication** — not applicable.

Received 28.11.2025. Accepted 26.12.2025

**For citation:** Skurlatov TA. Surgical strategy for severe trauma and frostbite in polar regions under limited resource conditions. *RUDN Journal of Medicine*. 2026;30(1):31–54. doi: 10.22363/2313-0245-2026-30-1-31-54. EDN: CYLQSZ

## Введение

Тяжелая травма остается одной из ведущих причин предотвратимой смертности в мирное и военное время. В классической модели травматологической помощи ключевым считается как можно более раннее выполнение окончательного хирургического вмешательства в условиях хорошо оснащенного стационара. Однако в ситуациях ограниченных ресурсов — на театре военных действий, в изолированных арктических поселках, на полярных станциях и удаленных островах — такая стратегия нередко оказывается невыполнимой: сроки эвакуации исчисляются часами и сутками, возможности анестезиологии и реанимации ограничены, а один хирург или врач общей практики вынужден принимать решения, от которых напрямую зависят исходы [1–7].

Ответом на эти вызовы стала концепция поэтапного лечения травмы с использованием damage control surgery (DCS — хирургия контроля повреждений), damage control resuscitation (DCR — реанимация контроля повреждений) и prolonged field care (PFC — пролонгированное полевое ведение). Эти подходы ориентированы на ранний контроль жизнеугрожающих нарушений и выполнение минимально достаточного объема вмешательства на каждом уровне с последующим переносом окончательной хирургии в более подготовленный стационар [2–4, 8–11].

Отдельный пласт данных по оказанию помощи в условиях длительной изоляции и ограниченной эвакуации представлен в работах, посвященных хирургическим случаям и организации медицинской помощи на антарктических станциях, включая

телемедицинскую поддержку и описанные кейсы самопомощи [12–15]. Организационные и тактические аспекты медицинского обеспечения, а также оценка эффективности военно-медицинских систем и подходов к догоспитальной помощи при современных конфликтах дополняют рамку принятия решений в условиях ограниченных ресурсов [16–18].

Арктика и Антарктика представляют собой предельный вариант такой среды: крайне низкая плотность населения, сложные климатические условия, зависимость от авиационной эвакуации и длительные периоды фактической изоляции сочетаются с широким спектром патологии — от травм и обморожений до неотложной абдоминальной и гнойной хирургии [19–27]. При дефиците профильных специалистов и ограниченном анестезиологическом обеспечении именно тактический выбор — «выполнить ограниченное вмешательство на месте» или «стабилизировать и эвакуировать» — становится центральной задачей полярного хирурга.

Несмотря на наличие обзоров по военной травме и медицинскому обеспечению полярных регионов, вопросы хирургической тактики при тяжелой травме и обморожениях в полярных регионах, выбор объема вмешательства и организационных моделей помощи чаще всего рассматриваются фрагментарно. Практикующему хирургу трудно сопоставить опыт разных стран и понять, какие элементы можно прямо перенести в его реальность [1–4, 19–32]. Настоящий обзор адресован хирургам, анестезиологам-реаниматологам и врачам скорой помощи, работающим или планирующим работу в условиях ограниченных ресурсов.

**Цель настоящего обзора** — обобщить международный опыт оказания хирургической помощи при тяжелой травме и обморожениях в полярных регионах, проанализировать применение принципов DCS/DCR/PFC в условиях ограниченных ресурсов, а также показать роль телемедицины и международного сотрудничества в поддержке хирургических решений: выполнять ограниченное вмешательство на месте или стремиться к максимально ранней эвакуации [1–18, 23–27].

## Материалы и методы

Проведен нарративный (scoping) обзор литературы за период 1990–2025 гг. Поиск выполнялся в базах PubMed/MEDLINE, Embase, Scopus, Cochrane Library и РИНЦ, а также по спискам литературы в ключевых обзорах и руководствах по военной, полевой и полярной медицине и телемедицине [1–7, 12, 15, 18, 20–23, 26, 28–33]. Дополнительно учтены руководства и доктринальные документы по медицинскому обеспечению современных вооруженных конфликтов и операций в условиях ограниченных ресурсов [1–6, 8, 9, 16–18, 23–25], а также материалы национальных антарктических программ и работы по медицине Крайнего Севера [12, 15, 20–22, 28–32].

В обзор включались:

- международные и национальные руководства по военной и полевой хирургии, а также по концепциям DCS/DCR/PFC [1–11, 16–19, 23–27];
- работы по организации медицинской и хирургической помощи в Арктике и Антарктике, на удаленных островах и судах [12, 15, 20–22, 28–32];
- публикации по телемедицине и эвакуации в полярных регионах [13, 30–34];
- исследования по обморожениям и другим холодовым поражениям, включая данные полярных экспедиций и антарктических станций [2–4, 8–11, 20–22, 28–32, 35–40];
- клинические наблюдения и серии случаев, отражающие реальные сценарии полярной хирургии и длительной эвакуации [12–15, 22, 28–32, 34].

Поиск проводился с использованием комбинаций ключевых слов на английском и русском языках: severe trauma, damage control surgery, damage control resuscitation, prolonged field care, frostbite, cold injury, polar medicine, Arctic, Antarctic, evacuation, telemedicine, austere environment, полярная медицина, Арктика, Антарктика, тяжелая травма, обморожения, телемедицина, эвакуация и др. [1–18, 20–34].

Основное внимание уделялось публикациям, содержащим данные о структуре травмы, особенно в случаях обморожений, возможностях хирургического вмешательства на разных уровнях медицинской

помощи, а также факторам, влияющим на хирургическое решение: сроки и способ эвакуации, оснащенность учреждений, опыт команды, доступность телемедицины и интенсивной терапии [12–15, 20–22, 28–32, 34].

## Военно-полевая хирургия и концепции DCS/DCR/PFC

### Эволюция *damage control surgery* и *damage control resuscitation*

Концепция *damage control surgery* (DCS) была сформулирована в начале 1990-х гг. Rotondo и соавт. как ответ на высокую летальность при экстренных вмешательствах у пациентов с массивной кровопотерей и выраженной коагулопатией [2]. Основная идея заключалась в выполнении ограниченного объема операции, направленного на быстрый контроль кровотечения и загрязнения (контроль источника), с намеренным отказом от немедленного восстановления анатомии. После стабилизации в отделении реанимации и коррекции гипотермии, коагулопатии и ацидоза проводился второй этап — окончательная реконструктивная хирургия [2–4].

Параллельно развивалась концепция *damage control resuscitation* (DCR), ориентированная на раннюю гемостатическую ресусцитацию, минимизацию кристаллоидов, прицельное использование компонентов крови и коррекцию коагулопатии [3, 8, 13, 14]. В дальнейшем эти подходы были интегрированы в руководства Joint Trauma System и Tactical Combat Casualty Care (TCCC) и стали основой стандартизированных алгоритмов догоспитальной и госпитальной помощи при тяжелой травме [8, 11–13, 17].

DCS/DCR сместили акцент с попытки «идеальной» одномоментной операции на контроль физиологии (кровотечения, коагулопатии, гипотермии) и «разбиение» хирургии на два этапа: спасение жизни и последующую реконструкцию. В полярных условиях именно эта логика — минимально достаточное вмешательство вместо полного, но рискованного — оказывается критически важной.

### 1.2. *Prolonged field care* и опыт современных конфликтов

В современных конфликтах (Афганистан, Ирак, операции специальных сил) на первый план вышла проблема *prolonged field care* (PFC) — ситуации, когда тяжело раненый пациент вынужден находиться в условиях ограниченных ресурсов многие часы до эвакуации [9, 10, 12]. Принципы PFC включают:

- приоритет контроля кровотечения и дыхательных путей;
- раннее применение гемостатических средств и трансфузии крови/плазмы;
- поддержание температуры тела и профилактику гипотермии;
- мониторинг жизненно важных функций в полевых условиях [9–11, 15–17].

Анализ данных военной травмы показал, что систематическое внедрение DCS/DCR/PFC и стандартов TCCC (tactical Combat Casualty Care, тактическая помощь пострадавшим в бою) привело к снижению предотвратимой летальности и улучшению исходов в боевых действиях [11–13, 17, 18]. Для полярного хирурга это означает, что проверенные в боевых условиях алгоритмы могут служить готовым каркасом тактики в условиях Крайнего Севера, где время до травмоцентра сопоставимо с военной эвакуацией.

## Особенности травмы и хирургической помощи в полярных регионах

### Российская Арктика и Крайний Север

В российской Арктике и на Крайнем Севере сеть медицинских учреждений представлена фельдшерско-акушерскими пунктами, амбулаториями, небольшими районными больницами и несколькими межрайонными центрами, оснащенными операционными [20, 21]. Санитарная авиация позволяет эвакуировать пациентов в региональные и федеральные центры, но возможности эвакуации ограничены погодой, световым днем и доступностью бортов.

При тяжелой травме или острой хирургической патологии врач малой больницы должен решить, возможно ли локальное ограниченное вмешательство (например, лапаротомия с тампонадой, наложение стомы, фасциотомия) или нужно предпринимать попытку немедленной эвакуации [20, 26, 27]. В обоих случаях значимы гипотермия, трудности мониторинга и дефицит крови и препаратов. Для хирурга здесь принципиально важно не столько «уметь всё», сколько точно понимать пределы безопасного объема операции в данных ресурсных условиях.

### **Норвегия и архипелаг Шпицберген (Лонгйирбюен, Баренцбург)**

На Шпицбергене базовым учреждением является госпиталь в Лонгйирбюене, способный выполнять ограниченный объем экстренной хирургии и стабилизацию травмированных; российский поселок Баренцбург ориентирован на более простые вмешательства с последующей эвакуацией пациентов в Лонгйирбюен или на материковую Норвегию [21, 22, 29].

Трехлетний анализ травм, связанных в основном со снегоходами, показал, что большинство поврежденных приходится на конечности, однако встречаются разрывы селезенки и почек, тяжелые переломы и ЧМТ; летальных исходов не зарегистрировано, что связывается с четко отлаженной системой эвакуации и готовностью госпиталя к экстренной хирургии [22, 29]. С точки зрения тактики это пример модели, где локальный уровень выполняет роль DCS-этапа, а материковые центры — этапа окончательной реконструкции.

### **Гренландия (Королевство Дания)**

Медицинская система Гренландии представляет собой многоуровневую структуру: фельдшерские пункты и небольшие больницы в поселках, несколько более крупных региональных центров и возможность эвакуации в Данию при тяжелой патологии [21, 30, 31].

Телемедицина позволяет консультировать сложные случаи и выбирать между локальным вмешательством и эвакуацией. В серии наблюдений

по острым неотложным состояниям телемедицинские консультации в ряде случаев позволили избежать эвакуации, а в других — стабилизировать пациентов до прибытия санитарной авиации [30, 31]. Для хирурга это означает, что решение о необходимости DCS или, наоборот, об отказе от операции принимается не в одиночку, а совместно с экспертами центра.

### **Антарктические станции**

Антарктические станции разных стран обычно обслуживаются одним врачом (иногда хирургического профиля), который несет ответственность за весь спектр патологии — от стоматологии до экстренной хирургии [12, 15, 28]. Scoping review по хирургической эпидемиологии антарктических станций за 1904–2022 гг. показал, что наиболее частыми вмешательствами являются аппендэктомии, операции по поводу грыж, гнойная хирургия и травматологические процедуры [12, 28].

При невозможности эвакуации здесь часто реализуется крайняя форма DCS: ограниченные по объему операции, выполнение манипуляций немедицинским персоналом под руководством врача, телемедицинская поддержка специалистов на «большой земле». В таких условиях именно строгая самоограниченность хирурга в выборе объема вмешательства и поэтапность лечения определяют исход.

### **Север США и Канады**

В северных регионах США и Канады (Аляска, север Канады) широко используются принципы PFC и DCR, заимствованные из военной медицины, в сочетании с воздушной эвакуацией на большие расстояния [9–11, 19, 21, 22, 25]. Здесь, как и в Арктике, ключевыми ограничивающими факторами являются погода, наличие бортов и длительное время доставки пациента в травмоцентр. Хирурги и врачи удаленных стационаров в Северной Америке работают в логике, близкой к полярной: локальный контроль повреждений + планируемая эвакуация в центр уровня I–II. Сравнительная характеристика моделей организации хирургической помощи в полярных регионах представлена в табл. 1.

Таблица 1

## Сравнительная характеристика моделей организации хирургической помощи в полярных регионах

Регион / Страна	Базовый уровень помощи	Наличие хирурга	Возможности локальной хирургии	Время эвакуации в высокоспециализированный центр	Основные инструменты улучшения исходов
Российская Арктика и Крайний Север	ФАП, малые районные больницы, межрайонные центры	Не всегда (часто врач общей практики или анестезиолог, хирург по вызову)	Небольшие полостные операции, простая травматология, DCS-вмешательства по показаниям	Часы-сутки, зависит от погоды, наличия санавиации и расстояния	Принципы DCS/DCR, санавиация, телемедицина с федеральными центрами, обучение персонала
Норвегия / Шпицберген	Госпиталь Лонгйирбюена, амбулатория Баренцбурга	Дежурный врач с хирургическими навыками	Экстренная хирургия средней сложности, стабилизация тяжелых пациентов, подготовка к эвакуации	Как правило часы (до материковой Норвегии), возможны задержки из-за погоды	Четкая система эвакуации, развитая телемедицина, участие в национальной системе здравоохранения
Гренландия (Дания)	Малые больницы в городах, региональные центры	В ряде центров есть хирурги; в малых больницах – врачи общей практики	Базовая общая и травматологическая хирургия, DCS по показаниям	Часы-сутки до крупных центров и Дании	Телемедицина, стандартизированные протоколы эвакуации, интеграция в систему здравоохранения Дании
Антарктические станции разных стран	Один врач на станции (часто без узкой спец. по хирургии)	Обычно один врач, иногда с хирургическим опытом	Ограниченный спектр вмешательств (аппендэктомия, герниопластика, дренирование, простая травматология)	Сутки-недели, зависит от сезона, погоды и логистики	DCS-подход, телемедицина, международная кооперация, тщательный отбор персонала
Север США и Канады	Районные больницы, опорные пункты, региональные центры	В крупных центрах -хирурги и травматологи; в удаленных пунктах – врачи общей практики	Базовая общая и травматологическая хирургия, стабилизация состояния, подготовка к эвакуации	Часы-сутки до травмоточных центров уровня I-II	Применение принципов PFC и DCR, развитая санитарная авиация, использование военных протоколов (TCCC и др.)

Table 1

## Organisation of surgical care for severe trauma in selected polar regions

Region / Area	Basic level of medical facility	Surgical provider	Available surgical procedures	Evacuation time to a high-specialty center	Main tools to improve outcomes
Russian Arctic and Far North	Feldsher-midwife stations, small district hospitals, inter-district centers	Not always a surgeon; often a general practitioner or anaesthesiologist, surgeon on call	Minor abdominal procedures, simple trauma surgery, DCS interventions when indicated	Hours to days, depending on weather, availability of air medical transport and distance	DCS/DCR principles, air medical evacuation, telemedicine with federal centers, staff training
Norway / Svalbard	Longyearbyen Hospital, Barentsburg outpatient clinic	On-call physician with surgical skills	Emergency surgery of moderate complexity, stabilization of severely injured patients, preparation for evacuation	Usually hours (to mainland Norway); delays possible due to weather	Well-defined evacuation system, developed telemedicine, integration into the national health-care system
Greenland (Kingdom of Denmark)	Small hospitals in towns, regional centers	Surgeons in some centers; in small hospitals – general practitioners	Basic general and trauma surgery, DCS when indicated	Hours to days to large centers and to Denmark	Telemedicine, standardized evacuation protocols, integration into the Danish health-care system
Antarctic stations of different countries	One physician at the station (often without formal surgical specialty)	Usually a single physician, sometimes with surgical experience	Limited range of procedures (appendectomy, hernia repair, drainage, simple trauma surgery)	Days to weeks, depending on season, weather and logistics	DCS approach, telemedicine, international cooperation, careful selection and training of staff

Таблица 1 Continued

Region / Area	Basic level of medical facility	Surgical provider	Available surgical procedures	Evacuation time to a high-specialty center	Main tools to improve outcomes
Northern USA and Canada	Rural hospitals, outposts, regional centers	Surgeons and trauma surgeons in major centers; general practitioners in remote outposts	Basic general and trauma surgery, stabilization and preparation for evacuation	Hours to days to level I–II trauma centers	Application of PFC and DCR principles, well-developed aeromedical evacuation, use of military trauma protocols (e. g. TCCC)

### Применение принципов DCS/DCR/PFC в полярных условиях

В полярных регионах концепции DCS/DCR/PFC становятся практическим инструментом адаптации помощи к реальным ресурсам. На уровне малых стационаров и полярных станций основной задачей является стабилизация пациента, контроль источника кровотечения и инфекционного загрязнения, минимизация операционной агрессии и обеспечение условий для дальнейшей эвакуации [1–7, 15–22, 24, 27].

#### Практические хирургические задачи полярного хирурга

В реальных условиях арктических стационаров и полярных станций круг вмешательств, выполняемых по принципам DCS, относительно типичен и включает:

- экстренную лапаротомию с тампонадой брюшной полости, контролем источника кровотечения и временным закрытием брюшной стенки (открытая лапаростома, вакуум-ассистированная повязка);
- спленэктомию при некупируемом кровотечении из селезенки;
- наружное дренирование и разгрузочные вмешательства при перфорации полых органов (формирование стом, выведение петли кишки) вместо сложных реконструкций и анастомозов;
- временную стабилизацию переломов (внешняя фиксация, скелетное вытяжение) при отсутствии условий для окончательного остеосинтеза;
- декомпрессивные вмешательства (фасциотомии при компартмент-синдроме, декомпрессивная краниотомия/краниэктомия в исключительных ситу-

ациях при наличии минимального инструментария и опыта);

- обработку комбинированных и инфицированных ран с радикальным иссечением некротических тканей и открытым ведением раны [1–4, 5–7, 15–18, 21–22, 24].

Выбор конкретного объёма вмешательства определяется не только анатомией повреждения, но и ресурсами пункта: наличием крови и кровезаменителей, возможностями анестезии и мониторинга, квалификацией единственного хирурга или врача общей практики, а также прогнозируемыми сроками эвакуации [8–11, 15–17, 19–22, 27]. В этом контексте принципы DCS/DCR/PFC перестают быть абстрактной доктриной и превращаются в практический алгоритм принятия **конкретных хирургических решений** — от отказа от анастомоза в пользу стомы до выбора внешней фиксации вместо внутреннего остеосинтеза.

#### Температурный менеджмент тяжелой травмы в условиях холода

В полярных регионах проблема гипотермии приобретает ключевое значение: пострадавший часто поступает в стационар уже охлаждённым, а транспортировка и операционная не всегда обеспечивают адекватный тепловой режим. Гипотермия усиливает коагулопатию и метаболический ацидоз, формируя «летальную триаду» травмы и повышая риск неконтролируемого кровотечения и несостоятельности DCS-вмешательств [3, 18, 27]. Одновременно экспериментальные и клинические данные показывают, что контролируемое снижение температуры тела при массивной кровопотере может замедлять метаболизм и продлевать время,

доступное для хирургического контроля повреждений, что легло в основу концепции emergency preservation and resuscitation (EPR) [20, 35, 36]. В полярной практике эти два аспекта — профилактика случайной гипотермии и осторожное использование потенциала контролируемой гипотермии — должны рассматриваться как единая задача температурного менеджмента: активное согревание пациента, подогрев инфузий и компонентов крови, минимизация экспозиции, использование теплых операционных и, при критической задержке эвакуации, обсуждение возможности применения протоколов глубокой гипотермии EPR (emergency preservation and resuscitation, экстренное сохранение и реанимация в специализированных центрах) [18, 27, 35, 36].

#### **Point-of-care диагностика (POCUS и экспресс-лаборатория)**

Ограниченный доступ к КТ (компьютерная томография), круглосуточной лаборатории и рентгену делает point-of-care диагностику одним из ключевых инструментов полярного хирурга. Портативное ультразвуковое исследование у постели больного (point-of-care ultrasound, POCUS) позволяет выполнять FAST/eFAST-протоколы, оценивать наличие свободной жидкости, повреждения паренхиматозных органов, плевральные осложнения и базовые параметры функции сердца, а также контролировать эффективность DCS-вмешательств [8, 11, 22]. Дополнение POCUS экспресс-лабораторией (лактат, гемоглобин, гематокрит, коагуляция, кислотно-основное состояние) позволяет более обоснованно решать, возможно ли ограничиться локальным вмешательством или необходима срочная эвакуация в центр более высокого уровня [21, 22, 31, 37].

Современные обзоры подчеркивают, что POCUS в полевых и ресурсно-ограниченных условиях — от военных конфликтов до высокогорья и микрогравитации — повышает диагностическую точность и влияет на выбор хирургической тактики [9–11, 25, 31, 37]. Для полярного хирурга и врача общей практики освоение POCUS и базового набора point-of-care тестов становится таким же обязательным навыком, как владение типичными DCS-операциями.

#### **Инфекции и сепсис в изолированных базах**

Задержка эвакуации, ограниченный доступ к повторной хирургической санации и антибиотикам, высокая плотность проживания в зимующих коллективах и наличие инвазивных устройств (катетеры, дренажи) повышают риск ранних инфекционных осложнений после травмы и urgentных операций. В антарктических сериях наблюдений отмечена значительная доля гнойно-воспалительных заболеваний (раневые инфекции, абсцессы, флегмоны, пневмонии), нередко требующих повторных вмешательств и длительного наблюдения [12, 15, 28].

Для полярной хирургии принципиальны: максимально радикальная первичная хирургическая обработка ран, формирование стом вместо рискованных анастомозов, короткие рациональные курсы антибиотиков из ограниченного формуляра, строгий контроль за катетерами и дренажами, ранняя мобилизация пациента, а также использование телемедицины для раннего выявления признаков сепсиса и корректировки антибактериальной терапии [12, 15, 21, 28, 31]. При невозможности эвакуации именно сочетание адекватного DCS-вмешательства и грамотной противoinфекционной тактики определяет исход.

#### **Обморожения и комбинированные холодовые травмы**

В полярных регионах тяжелая механическая травма часто сочетается с локальными обморожениями и системной гипотермией: снегоходные и лыжные аварии, падения в полынью, травмы на палубе или льду, длительное пребывание на холодном ветру [20–22, 28–31]. В этих условиях переломы длинных костей, ЧМТ (черепно-мозговая травма) и повреждения мягких тканей нередко сопровождаются обморожениями кистей, стоп, лица и ушей, причем частота таких сочетаний возрастает по мере удаления от крупных стационаров и увеличения времени до эвакуации [20–22, 29–31].

С хирургической точки зрения обморожения требуют коррекции стандартной тактики damage control. На первичном этапе приоритетом остаются жизнеспасающие вмешательства:

остановка кровотечения, декомпрессия (включая фасциотомии при синдроме компартмента), ограниченная ревизия и туалет ран, стабилизация нестабильных переломов с помощью аппаратов внешней фиксации [20, 22, 27]. Радикальные некрэктомии и тем более ампутации на фоне глубоких обморожений, как правило, откладываются до стабилизации гемодинамики, согревания и формирования четкой демаркационной линии; на полярном этапе допустимы только ограниченные некрэктомии и открытое ведение раны при угрозе инфекции или некротического сепсиса [20, 22, 27, 35].

Временное хирургическое ведение включает применение вакуум-терапии (при наличии оборудования), использование временных покрытий

(кожные и синтетические покрытия, «биологические повязки»), этапные ревизии раны с интервалом 24–72 часа и планирование уровня ампутации или реконструктивного вмешательства после телемедицинской консультации с центром, имеющим опыт хирургии холодовых поражений [20–22, 30, 31, 33, 35]. В проектируемые протоколы полярного хирургического модуля целесообразно включать чек-листы оценки степени обморожения, критерии для срочной хирургической декомпрессии и ранних некрэктомий, а также стандартизированные сроки и объемы отсроченных ампутаций и реконструкций, согласованные с опорным центром. Ключевые клинические степени обморожения и практические ориентиры для принятия решений приведены в табл. 2.

Таблица 2

## Клинические степени обморожения и ключевые ориентиры для хирурга в полярных условиях

Степень обморожения	Клинические признаки (после согревания)	Значение для хирурга / тактика в полярных условиях
I степень (поверхностная)	Побледнение, цианоз кожи, проходящая анестезия, отек; пузырей нет, чувствительность частично восстанавливается	Как правило, консервативное ведение, хирургическое вмешательство не требуется. Важно исключить более глубокие зоны, документировать объем поражения и не перегружать полярный модуль пациентами, не требующими оперативной помощи.
II степень (поверхностная с пузырями)	Пузыри с прозрачным содержимым, умеренный отек, выраженная болезненность после согревания; сохранение капиллярного кровотока	Хирургическая тактика минимальна: вскрытие напряженных пузырей при угрозе разрыва, асептическая повязка, иммобилизация. Радикальные некрэктомии и ампутации не показаны. Пациент может оставаться на полярном этапе при наличии возможности наблюдения и регулярных перевязок.
III степень (глубокая)	Пузыри с геморрагическим содержимым, выраженный отек, снижение или отсутствие чувствительности, цианотичная или черная окраска кожи, тугорелые («древесные») ткани.	Требуется этапное хирургическое ведение: ограниченные некрэктомии при признаках инфекции или влажной гангрены, открытое ведение раны, при наличии оборудования – VAC-терапия. Уровень окончательной ампутации, кожно-пластические вмешательства и остеосинтез по возможности откладываются до формирования демаркационной линии и телемедицинской консультации со специализированным центром.
IV степень (тотальный некроз)	Глубокий некроз кожи, подкожной клетчатки, мышц и/или костей; «мумификация» сегмента, отсутствие чувствительности и кровотока, укорочение при поражении пальцев	В условиях полярного модуля приоритет – стабилизация пациента и профилактика сепсиса. Окончательный уровень ампутации (на уровне жизнеспособных тканей проксимальнее зоны некроза) планируют после согревания, повторных ревизий и консультации опорного центра. На первичном этапе допустимы только срочные некрэктомии при инфекционных осложнениях, дренирование, временная внешняя фиксация при сочетании с переломами и подготовка к эвакуации.
Комбинированная травма + обморожение (любая степень)	Сочетание переломов, ЧМТ, травмы груди/живота и различных степеней обморожения конечностей, лица, ушных раковин; часто – выраженная системная гипотермия	Объем вмешательств на зоне обморожения подчинен принципам damage control: приоритет – остановка кровотечения, декомпрессия, наружная фиксация переломов, контроль источника перитонита. Агрессивные ампутации и обширные некрэктомии на холодовых сегментах откладываются до стабилизации пациента и перевода в специализированный центр; обязательно активное согревание и телемедицинская консультация.

Table 2

Clinical degrees of frostbite and key surgical decision points for the surgeon in polar conditions

Degree of frostbite	Clinical signs (after rewarming)	Implications for the surgeon / tactics in polar conditions
Grade I (superficial)	Pallor and cyanosis of the skin, transient anesthesia, oedema; no blisters, sensation partially returns.	Management is usually conservative; surgical intervention is not required. It is important to exclude deeper zones of injury, document the extent of frostbite and avoid overloading the polar module with patients who do not need operative care.
Grade II (superficial with blisters)	Clear fluid-filled blisters, moderate oedema, marked pain after rewarming; capillary refill is preserved.	Surgical tactics are minimal: decompress tense blisters at risk of rupture, apply aseptic dressings and immobilise the affected part. Radical necrectomies and amputations are not indicated. The patient can remain at the polar level provided that observation and regular dressing changes are feasible.
Grade III (deep)	Haemorrhagic blisters, marked oedema, reduced or absent sensation, cyanotic or black skin, firm «wooden» tissues.	Staged surgical management is required: limited necrectomies when there are signs of infection or wet gangrene, open wound management, and VAC therapy if equipment is available. The definitive level of amputation, reconstructive procedures and osteosynthesis should, whenever possible, be postponed until a clear demarcation line forms and a telemedicine consultation with a specialist center has been obtained.
Grade IV (total necrosis)	Deep necrosis of the skin, subcutaneous tissue, muscles and/or bones; «mummification» of the segment, absence of sensation and blood flow, shortening of the digit in finger involvement.	In the polar module the priority is to stabilize the patient and prevent sepsis. The definitive level of amputation (at the level of viable tissues proximal to the necrosis zone) is planned after rewarming, repeated inspections and consultation with a referral center. At the primary stage only urgent necrectomies for infectious complications, drainage, temporary external fixation in cases with associated fractures and preparation for evacuation are acceptable.
Combined trauma + frostbite (any degree)	Combination of fractures, traumatic brain injury, chest/abdominal trauma and various degrees of frostbite of the extremities, face and ears; pronounced systemic hypothermia is common	Interventions on frostbitten areas follow damage-control principles: priorities are hemorrhage control, decompression, external fracture fixation and control of intra-abdominal sepsis. Aggressive amputations and extensive necrectomy on cold-injured segments are postponed until the patient is stabilized and transferred to a specialized center; active rewarming and telemedicine consultation are mandatory.

### Телемедицина в полярной хирургии

Телемедицина является ключевым инструментом поддержки хирургов и врачей общей практики в изолированных регионах, где доступ к специализированной помощи ограничен, а эвакуация может быть отложена на часы и сутки [28–32]. Для полярной медицины она фактически становится «виртуальным многопрофильным консилиумом», к которому один-единственный врач может подключаться из арктического посёлка, с борта судна или антарктической станции. При этом телемедицина прямо влияет на хирургическую тактику: позволяет уточнить показания к операции, скорректировать объём вмешательства и оптимально спланировать эвакуацию.

### Арктическая зона:

#### Россия и другие страны Севера

В Арктической зоне России телемедицинские консультации используются для дистанционной интерпретации диагностических данных, обсуждения тактики при ургентной патологии и принятия решения об эвакуации [28]. На практике это включает:

- передачу ЭКГ (электрокардиография), рентгенограмм и результатов УЗИ (ультразвуковое исследование) в региональные и федеральные центры;
- телеконсилиумы по поводу острых хирургических заболеваний (аппендицит, перфорация полого органа, ущемленные грыжи) и травматологических повреждений;
- совместное с врачами старшего уровня решение, возможна ли локальная операция по прин-

ципам damage control или необходимо максимально быстро организовывать эвакуацию.

Систематический обзор телемедицинских сервисов в Арктике показывает, что телемедицина применяется для широкого спектра задач — от телерадиологии и телеконсультаций до дистанционного мониторинга пациентов в экспедициях [33]. В ряде стран (Норвегия, Канада, Дания/Гренландия, северные регионы США) описаны модели, где врач в удаленном поселке или на судне может круглосуточно связаться с травматологом, хирургом или анестезиологом университетского госпиталя, передать им изображения и видео, а затем реализовать рекомендованный объём вмешательства или подготовить пациента к эвакуации [29–31, 33].

**Хирургический акцент.** В арктических условиях телемедицина позволяет не только уточнять диагноз, но и разделить ответственность за выбор объёма вмешательства между местным врачом и экспертами опорного центра. Для хирурга малой больницы это снижает риск как чрезмерно агрессивной, так и недостаточной операции и облегчает решение в пользу DCS или отсроченной окончательной хирургии после эвакуации. Следовательно, на арктическом направлении телемедицина решает сразу несколько задач:

- диагностическую (телерадиология, дистанционное УЗИ, оценка тяжести травмы);
- тактическую (выбор между локальным DCS-вмешательством и эвакуацией);
- организационную (оптимизация маршрутизации и времени старта санитарной авиации).

#### **Телемедицина на антарктических станциях**

На антарктических станциях телемедицинская поддержка стала стандартом. Японские и британские программы описывают регулярные телеконсилиумы с университетскими клиниками, использование телерадиологии, дистанционной ЭКГ и видеосвязи для обсуждения хирургических случаев [30, 31].

Фактически один врач на станции получает возможность:

- консультироваться с хирургами, анестезиологами-реаниматологами, травматологами и другими специалистами;

- обсуждать показания к операции, её объём и технику в условиях ограниченных ресурсов;

- получать поддержку при ведении пациентов в послеоперационном периоде и при осложнениях.

При этом телемедицина выступает не только как инструмент выбора тактики, но и как средство психологической поддержки врача, который несёт единоличную ответственность за исход тяжёлых случаев в полной изоляции.

**Хирургический акцент.** Для врача антарктической станции телемедицина часто является единственным способом получить подтверждение или коррекцию решения «оперировать / не оперировать». В условиях, когда повторная эвакуация или повторное вмешательство могут быть невозможны, такая поддержка снижает вероятность фатальных ошибок при перитоните, травме живота или тяжёлой черепно-мозговой травме.

#### **Особые формы полярной телемедицины и самолечения**

Отдельный, во многом показательный эпизод телемедицинской помощи в условиях полной изоляции описан Taub и соавт.: врач, работавший на станции на Южном полюсе, проводил самолечение под дистанционным наблюдением специалистов на «большой земле», используя телемедицинские консультации для выбора тактики и контроля за своим состоянием [32]. Этот случай подчёркивает, что телемедицина в полярных регионах может использоваться не только для поддержки врачей в отношении других пациентов, но и для организации относительно безопасного самолечения при отсутствии возможности эвакуации и замены медицинского персонала.

В других публикациях описаны:

- дистанционное сопровождение пациентов с ОКС (острый коронарный синдром) на борту судов в антарктических водах;

- телеконсультации при подозрении на острый аппендицит или осложнённые травмы, когда решение об операции или выжидательной тактике принималось совместно судовым врачом и береговыми специалистами;

- мониторинг состояния участников экспедиций с использованием телеметрии и периодических телеконсультаций [30–32].

**Хирургический акцент:** наличие телемедицинской поддержки позволяет расширить допустимый диапазон выжидательной тактики, не пропуская при этом момента, когда пациента всё-таки необходимо оперировать или срочно эвакуировать. Это критично для условий, где повторная эвакуация или повторная операция могут быть невозможны.

В полярной хирургии телемедицина не заменяет очного хирурга, но делает его «частью» распределённой команды, связывая отдалённый пост с многопрофильным центром и позволяя переносить опыт крупного стационара в условия одной палаты или маленькой операционной на краю света.

#### **Перспективы искусственного интеллекта, систем поддержки решений и телероботики**

В рамках полярной медицины перспективным направлением является использование систем поддержки принятия решений и алгоритмов машинного обучения для триажа и тактического планирования при травме. На основе данных о механизме повреждения, жизненно важных показателях и времени до эвакуации такие системы могут предлагать врачу варианты: локальное DCS-вмешательство, отсроченная операция или немедленная эвакуация, оставаясь при этом надстройкой над клиническим мышлением, а не его заменой [30–32, 41–44].

Дополнением к телемедицине выступают экспериментальные модели телероботики: дистанционно управляемое ультразвуковое исследование, робот-ассистированные манипуляции и тренажёры с обратной связью, позволяющие отрабатывать навыки DCS-операций в условиях ограниченных ресурсов [41–44]. Пока эти технологии остаются на уровне пилотных проектов, однако для полярной хирургии они потенциально могут стать способом «доставить» экспертизу крупного центра на изолированный пост и представляют одно из ключевых направлений будущих исследований.

#### **Международное сотрудничество в полярной хирургии**

Международное сотрудничество является вторым ключевым опорным столбом полярной хирургии наряду с телемедициной. Практически ни одна страна не в состоянии обеспечивать полный спектр высокотехнологичной помощи и эвакуации во всех точках Арктики и Антарктики только своими силами; поэтому маршруты медицинской эвакуации, телеконсилиумы и обучение персонала изначально строятся как многосторонние.

#### **Арктическое сотрудничество**

В Арктике действуют международные соглашения по поиску и спасению (SAR), санитарной авиации и обмену ресурсами. При крупных инцидентах медицинская помощь часто оказывается силами нескольких стран, а маршруты эвакуации тяжёлых пациентов проходят через ближайшие арктические аэродромы и порты, независимо от государственных границ.

Для северных регионов России международное сотрудничество практически проявляется в:

- координации поисково-спасательных операций (SAR) в приграничных морских акваториях;
- обмене опытом по организации санавиации и применению DCS/DCR-подходов в отдалённых стационарах;
- участия полярных врачей в международных семинарах и тренингах по травме в экстремальных условиях.

Телемедицинские сети, описанные выше, фактически являются рабочим инструментом реализации этих договорённостей: они позволяют оперативно консультировать пациентов, выбирать маршруты эвакуации и согласовывать объём вмешательства между несколькими центрами.

**Хирургический акцент.** Для хирурга в арктическом стационаре международное сотрудничество означает возможность опираться не только на собственный опыт и ресурсы, но и на поддержку центра более высокого уровня, в том числе находящегося за пределами своей страны.

### **Антарктида как модель многостороннего взаимодействия**

Антарктида представляет собой уникальную модель многосторонней кооперации. Станции разных стран функционируют в рамках общей договорной базы, предусматривающей:

- обмен информацией о медицинской обстановке и возможностях помощи;
- взаимную поддержку в экстренных ситуациях (эвакуация тяжёлых пациентов через ближайшую по расположению станцию, независимо от флага);
- использование общих логистических ресурсов (судов, авиации) для транспортировки пациентов и медикаментов [12, 15, 28, 32, 33].

Телемедицинские решения, разработанные для полярных экспедиций, включают согласованные форматы передачи изображений и данных мониторинга, общие протоколы телеконсультаций и участие в многоцентровых исследованиях полярной медицины [30–33].

Международное сотрудничество в Антарктиде включает три уровня:

- **Стратегический** — договоры и соглашения, определяющие принципы взаимопомощи и использования инфраструктуры.
- **Оперативный** — соглашения между программами отдельных стран, фиксирующие конкретные маршруты эвакуации и обмен ресурсами.
- **Клинический** — ежедневные телеконсилиумы и консультации по реальным пациентам, когда хирурги и анестезиологи из разных стран совместно принимают тактические решения.

**Хирургический акцент.** Наличие многосторонних соглашений и отлаженных телемедицинских каналов позволяет врачу антарктической станции применять принципы DCS, рассчитывая на последующую эвакуацию и реконструкцию в центре более высокого уровня, даже если он находится под флагом другой страны.

### **Визуализация сети сотрудничества**

Основные направления международного взаимодействия, маршруты эвакуации и ключевые телемедицинские узлы в Арктике и Антарктиде

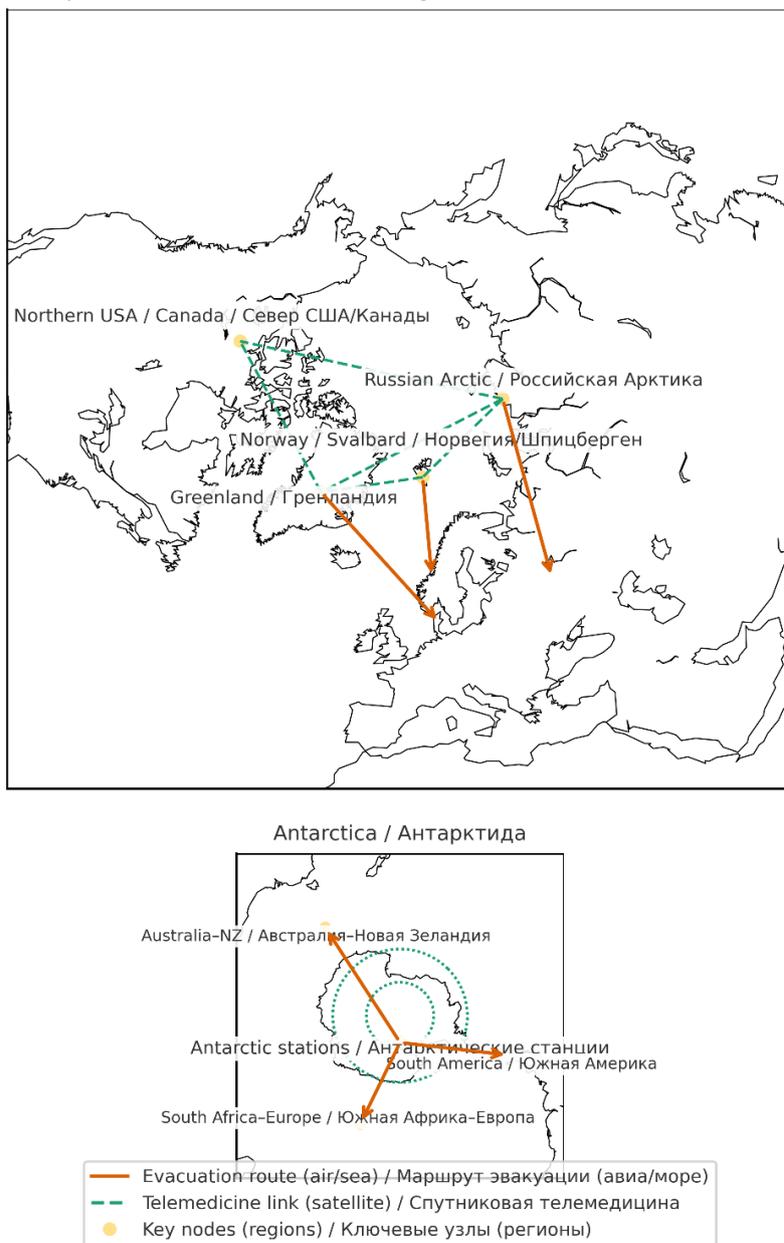
могут быть представлены в виде единой сети, объединяющей национальные программы и полярные станции [12, 15, 28, 32, 33].

### **Клинические и организационные примеры**

Наиболее известным клиническим примером хирургического вмешательства в полярных условиях остаётся самооперация Л.А. Рогозова по поводу острого аппендицита на антарктической станции. Ограниченный объём вмешательства, выполнение лишь жизненно необходимой операции в условиях минимального набора инструментов и отсрочка реконструктивного этапа хорошо иллюстрируют принцип DCS: устранить непосредственную угрозу жизни и не выходить за пределы возможностей среды.

Другим широко цитируемым примером является история врача J. Nielsen на станции Амундсен-Скотт на Южном полюсе. В период полярной зимы, когда эвакуация была полностью невозможна, у неё выявили подозрительное образование в молочной железе. Диагностика и выбор тактики лечения целиком опирались на телемедицину: по каналам связи проводились телеконсилиумы с хирургами и онкологами, под их контролем Nielsen выполнила под местной анестезией биопсию и начала противоопухолевое лечение, препараты и расходные материалы для которого были доставлены авиасбросом. До возобновления полётов наблюдение и коррекция терапии также осуществлялись дистанционно [13, 33]. Этот сценарий показывает, что в условиях полной изоляции телемедицина может частично компенсировать отсутствие очного специализированного консилиума и обеспечить проведение необходимых малых хирургических вмешательств и сложного лечения без ожидания восстановления транспортного сообщения. В обзорах по полярной медицине описаны и другие ситуации, когда телемедицина использовалась для поддержки сложных решений: дистанционное ультразвуковое исследование, оценка показаний к лапароскопии или лапаротомии, выбор объёма вмешательства при ограниченном анестезиологическом обеспечении и возможной задержке

Polar medical network: evacuation routes and telemedicine (schematic)  
 Полярная медицинская сеть: эвакуация и телемедицина (схема)



**Рис. 1.** Полярная медицинская сеть: маршруты эвакуации и телемедицины (схема)

*Примечание:* На схеме показаны ключевые регионы Арктики (Российская Арктика, Норвегия/Шпицберген, Гренландия, Аляска, Северная Канада) и отдельные станции в Антарктиде, соединённые линиями возможной эвакуации и телемедицинских каналов. Стрелками обозначены вероятные маршруты транспортировки пациентов и направления телеконсилиумов между арктическими узлами и антарктическими станциями.

**Fig. 1.** Polar medical network: evacuation routes and telemedicine links (schematic)

**Note:** The map shows key Arctic regions (Russian Arctic, Norway/Svalbard, Greenland, Alaska, Northern Canada) and selected Antarctic stations, connected by potential evacuation routes and telemedicine links. Arrows indicate probable patient transfer pathways and directions of teleconsultations between Arctic hubs and Antarctic stations.

эвакуации. Часть этих сценариев отрабатывалась в виде симуляций с задержкой сигнала, имитирующей спутниковую связь [12, 28, 33].

Кардиологический опыт также демонстрирует роль телемедицины: удалённое интерпретирование ЭКГ и эхокардиографии используется для решения, следует ли выполнять на месте минимально инвазивное вмешательство, продолжать консервативную терапию или инициировать немедленную эвакуацию, не подвергая пациента неоправданному риску транспортировки или операции.

Крупные серии наблюдений показывают, как эти подходы реализуются в повседневной практике при острых хирургических состояниях (острый живот, травма, осложнённые инфекции). Широкое использование телемедицинских консультаций, стандартизированных протоколов DCS/DCR и поэтапного планирования эвакуации ассоциировано с снижением летальности и частоты осложнений при сохранении приемлемого уровня риска на каждом этапе дистанционного обсуждения и динамического наблюдения [30–32].

**Хирургический акцент.** Перечисленные клинические примеры демонстрируют общий принцип: в полярной среде ключевым ресурсом является не набор инструментов, а организация маршрута пациента и доступ к экспертному мнению. DCS/DCR/PFC, поддержанные телемедициной и международным взаимодействием, позволяют выбирать минимально достаточный объём вмешательства с приемлемым уровнем риска на каждом этапе.

### Концепция полярного хирургического модуля

Опыт военно-полевой хирургии и полярной медицины позволяет сформулировать концепцию стандартизированного **«полярного хирургического модуля»** — компактного блочного подразделения, способного обеспечить выполнение жизнеспасующих вмешательств по принципам DCS/DCR/PFC в условиях Крайнего Севера, Антарктики и других изолированных регионов [1–4, 8–12, 15, 19–21, 28–31, 33].

С практической точки зрения такой модуль представляет собой сочетание:

- **приёмно-реанимационной зоны**, где выполняются сортировка, первичная оценка по принципам ABCDE, интенсивная терапия и реализация DCR (контроль дыхательных путей, гемостатическая реанимация, профилактика гипотермии) [3, 8–11, 17, 18, 23–25, 27];

- **малой операционной**, оснащённой для выполнения ограниченного спектра вмешательств damage control (лапаротомия с тампонадой, спленэктомия, формирование стом, внешняя фиксация переломов, фасциотомии, дренирующие операции) [1–4, 6, 7, 15, 19, 20, 22, 26, 27];

- **зоны кратковременного наблюдения**, где пациент может находиться до эвакуации или перевода на следующий этап [12, 15, 20–22, 28, 30, 31];

- **технического блока**, включающего систему подогрева инфузионных растворов, минимальный набор стерилизационного оборудования, кислород, аппараты ИВЛ и мониторинга [15, 20–22, 26, 27];

- **узла связи и телемедицины**, обеспечивающего круглосуточный доступ к телеконсилиумам с крупными центрами [13, 28–31, 33, 34].

Ключевой принцип полярного хирургического модуля — **ориентация на DCS, а не на «полный» объём хирургии**. Оборудование и логистика подбираются исходя из необходимости быстро выполнить ограниченное, но жизнеспасующие вмешательства в условиях дефицита времени, крови и анестезиологических ресурсов, а не из стремления к универсальности любой ценой [2–4, 6, 8–11, 17–19, 23–25].

Состав оснащения модуля может включать:

- базовый набор инструментов для лапаротомии и тампонады брюшной полости;
- набор для наружной фиксации длинных костей и таза;
- инструменты для выполнения трепанации или декомпрессивной краниотомии в исключительных ситуациях;
- оборудование для регионарной анестезии и базовой общей анестезии;

- расходные материалы для активного согревания пациента, согревания инфузий и крови;
- комплект средств для быстрой трансфузии и, при возможности, заготовки крови на уровне модуля [1–4, 6, 7, 15, 19, 20, 22, 26, 27].

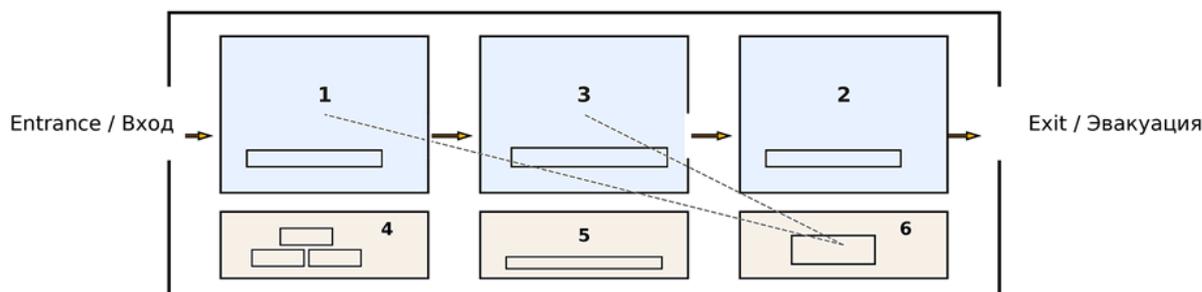
Отличительной особенностью полярного хирургического модуля является тесная интеграция с телемедицинскими системами. Рабочее место хирурга или врача общей практики предполагает возможность:

- передачи в реальном времени ЭКГ, УЗИ, рентгеновских и, при наличии, КТ-изображений;
- видеосвязи с хирургами, анестезиологами и травматологами опорных центров;
- совместного планирования объёма вмешательства (например, выбор в пользу стомы, а не анастомоза; наружной фиксации, а не внутреннего остеосинтеза) [13, 28–31, 33, 34].

В перспективе концепция полярного хирургического модуля может быть использована как **унифицированная платформа** для проектирования:

- стационаров в удалённых арктических посёлках;
- медицинских блоков научно-исследовательских станций;
- хирургических модулей для экспедиционных кораблей и судов снабжения;
- прототипов автономных медицинских модулей для высокогорных лагерей и длительных космических миссий [12, 15, 20–22, 24, 28, 30, 31, 33, 34].

Полярный хирургический модуль представляет собой не только архитектурное или инженерное решение, но и **концентрированное воплощение принципов DCS/DCR/PFC** в структурированном пространстве, где каждый метр и каждый прибор подчинён задаче сохранения жизни пациента до передачи его в центр более высокого уровня [1–4, 6, 8–11, 17–19, 23–25, 28–31, 33].



**Рис. 2.** Полярный хирургический модуль: схематическое устройство компактного контейнерного блока

**Примечание:** Модуль разделён на шесть пронумерованных зон: (1) реанимация и сортировка с проведением ABCDE-оценки, DCR и гемостатической реанимации; (2) зона кратковременного наблюдения перед эвакуацией или переводом; (3) операционная для вмешательств в формате damage-control surgery (DCS); (4) склад и логистическая зона для запаса расходных материалов, тёплой одежды, носилок и резервного оборудования. Стрелками показан типичный путь пациента от входа через реанимацию и DCS к наблюдению и дальнейшей эвакуации; (5) технический блок с системами подогрева инфузий и крови, источниками кислорода, аппаратами ИВЛ, мониторинга и базовой стерилизации; (6) узел телемедицины для телеконсилиумов и передачи ЭКГ, УЗИ, рентген- и КТ-изображений в опорные центры. Нумерация зон соответствует функциональному назначению, а не линейному расположению; маршрут пациента: Entrance → 1 → 3 → 2 → Exit.

**Fig. 2.** Polar surgical module: schematic layout of functional zones in a container-based unit

**Note:** The module is divided into six numbered areas: (1) resuscitation and triage zone for ABCDE assessment, DCR and haemostatic resuscitation; (2) short-term observation bay before evacuation or transfer; (3) operating room for damage-control surgery (DCS); (4) storage and logistics area for consumables, warm clothing, stretchers and reserve equipment. Arrows indicate the typical patient pathway from entrance through resuscitation and DCS to observation and further evacuation; (5) technical block with fluid and blood warming systems, oxygen supply, ventilators, monitoring and basic sterilization; (6) telemedicine unit providing real-time teleconsultations and transfer of ECG, ultrasound and X-ray/CT images to higher-level centers. Zone numbering reflects function rather than left-to-right placement; patient pathway: Entrance → 1 → 3 → 2 → Exit.

## Практические задачи полярного хирурга

В практической работе полярного хирурга или врача-универсала ключевым становится не столько владение максимально широким спектром оперативных техник, сколько умение выбрать минимально достаточный и безопасный объём вмешательства в конкретной ресурсной ситуации. Наиболее типичные задачи включают:

- **Принятие решения о месте и времени операции.** Выбор между немедленным вмешательством на станции/в малом стационаре и отсроченной операцией в опорном центре с учётом времени эвакуации, погодных условий и состояния пациента.

- **Выполнение ограниченных DCS-вмешательств.** Лапаротомия с тампонадой и временным закрытием брюшной полости, спленэктомия, формирование стом, внешняя фиксация переломов, фасциотомии и радикальная хирургическая обработка ран в условиях ограниченного инструментария и анестезиологических ресурсов [1–4, 5–7, 15–18, 21–24].

- **Управление риском осложнений при невозможности эвакуации.** Оценка допустимой степени «недолеченности» (например, выбор в пользу стомы вместо анастомоза), профилактика инфекционных и тромбоэмболических осложнений, активная борьба с гипотермией и коагулопатией [3, 8, 13–16, 23].

- **Интеграция телемедицинской поддержки в тактику.** Запрос телеконсультаций, дистанционная интерпретация данных визуализации (ЭКГ, УЗИ, КТ), совместное с экспертами планирование операции и послеоперационного наблюдения [28–33].

- **Организационная роль.** Координация работы команды (даже если она включает в себя немедицинский персонал), распределение ресурсов, ведение документации для последующего анализа и обучения.

### Управление болью и сознанием при дефиците ресурсов

Отдельной задачей является управление болью и сознанием при дефиците ресурсов. В полярных условиях далеко не всегда доступны ингаляционные анестетики, многоуровневая инфузионная

аналгезия и мониторинг глубины седации; при этом пациенты часто находятся в пути многие часы или даже сутки. Руководства по тактической помощи пострадавшим в бою и полевой анестезиологии рекомендуют опираться на комбинации кетамина, опиоидов, нестероидных противовоспалительных средств и регионарной анестезии, адаптированные к возможностям конкретного пункта [5, 6, 18, 19, 23]. Для полярных стационаров целесообразно заранее отработать стандартные схемы анальгезии и седации для типичных сценариев (нестабильный пациент с тяжёлой травмой, длительная эвакуация, повторные санационные операции) и обучить персонал распознавать ранние признаки передозировки, делирия и дыхательной недостаточности на фоне холода, гипоксии и недосыпания [18, 20, 23, 24].

### Планирование возвращения к профессиональной и физической активности

Ещё одна недооценённая область — планирование возвращения к профессиональной нагрузке (return-to-duty / return-to-climb) у полярников, военнослужащих, альпинистов, моряков и спасателей. Даже после успешно выполненного DCS-вмешательства и реконструкции пациент может иметь длительные ограничения по нагрузке, работе в холоде, на высоте или в условиях изоляции. Долгосрочные наблюдения за участниками полярных и высотных экспедиций показывают, что травмы опорно-двигательного аппарата и последствия хирургических вмешательств существенно влияют на возможность продолжать работу по специальности [21, 22, 28]. Это подчёркивает необходимость регистров, оценивающих не только выживаемость, но и функциональные исходы и способность возвращения к прежнему уровню активности в экстремальных профессиях, включая высокогорный и космический компонент будущих миссий [17, 21, 28, 39, 40].

### Человеческий фактор и когнитивная нагрузка

Отдельным ограничивающим звеном полярной хирургии выступает человеческий фактор. Исследо-

вания команд, выполняющих травматологическую реанимацию, показывают, что качество коммуникации, распределение ролей, ситуационная осведомлённость и лидерство напрямую влияют на полноту выполнения протоколов и частоту ошибок, нередко не меньше, чем уровень технического оснащения [44]. В экспериментальных работах предложены количественные индикаторы согласованности действий команды и продемонстрировано, что целевые тренинги и симуляционные занятия улучшают координацию и объективные показатели качества помощи при тяжёлой травме [44].

В полярных условиях к этим факторам добавляются хронический недосып, полярная ночь, изоляция, ограниченный состав команды и необходимость совмещать несколько ролей (хирург,

анестезиолог, организатор эвакуации). Современные обзоры по human factors подчёркивают, что подобная комбинация повышает когнитивную нагрузку, способствует срывам внимания и увеличивает риск тактических ошибок, особенно при редких, но критических сценариях [45]. Это делает обязательными использование простых чек-листов, заранее отработанных алгоритмов, регулярных коротких симуляционных тренингов и активное внедрение когнитивных «подсказчиков» (в том числе основанных на ИИ), которые не заменяют клиническое мышление, но страхуют от наиболее типичных пропусков. Свод ключевых практических задач полярного хирурга в условиях ограниченных ресурсов представлен в табл. 3.

Таблица 3

## Ключевые практические задачи полярного хирурга в условиях ограниченных ресурсов

Задача	Уровень помощи	Содержание	Практические комментарии
Применение принципов DCS	Малый стационар, полярная станция, судно	Минимально необходимое вмешательство (контроль кровотечения, временная стабилизация повреждений) с отказом от окончательной реконструкции в условиях нестабильной физиологии	Требует предварительной отработки алгоритмов и чёткого понимания границ вмешательства
Реализация DCR и PFC	Догоспитальный этап, малый стационар	Ограничение кристаллоидов, приоритет крови/плазмы (при наличии), контроль гипотермии и коагулопатии, длительное поддерживающее лечение до эвакуации	Нужны запасы расходников, протоколы мониторинга, обучение персонала
Телемедицинская поддержка решений	Все уровни, особенно изолированные пункты	Организация круглосуточного доступа к телеконсилиумам (хирург, анестезиолог, кардиолог), передача изображений (ЭКГ, УЗИ, КТ)	Важны стандартизированные протоколы связи и резервные каналы (интернет/спутник/радио)
Маршрутизация и планирование эвакуации	Станция, малый стационар, региональный центр	Оценка времени эвакуации, погоды, доступности бортов, готовности принимающего центра; использование «окна погоды»	Необходимы заранее отработанные схемы взаимодействия с SAR (поиск и спасение) и авиацией, несколько резервных маршрутов
Профилактика гипотермии и коагулопатии	Догоспитальный этап, операционная	Активный контроль температуры (утепление, подогрев инфузий), ранняя диагностика и коррекция коагулопатии, минимизация кровопотери	В полярных условиях борьба с гипотермией — ключевой элемент DCR
Подготовка команды и взаимодействие	Все уровни	Тренировки по сценариям тяжёлой травмы, чёткие роли в бригаде, взаимодействие со спасателями, авиацией, экипажами судов	В условиях кадрового дефицита важна рациональная распределённость задач между врачом, фельдшером, медсестрой и немедиками

Table 3

## Key practical tasks for a polar surgeon in limited-resource settings (task, level of care, content, practical comments)

Task	Level of care	Content	Practical comments
Application of DCS principles	Small hospital, polar station, ship	Only the minimum necessary intervention (haemorrhage control, temporary stabilization of injuries), with deferral of definitive reconstruction in the setting of physiological instability	Requires prior rehearsal of algorithms and a clear understanding of the limits of the intervention
Implementation of DCR and PFC	Prehospital stage, small hospital	Restriction of crystalloids, priority use of blood/plasma (if available), control of hypothermia and coagulopathy, prolonged supportive care until evacuation	Requires adequate stock of consumables, monitoring protocols and staff training
Telemedicine support for decision-making	All levels of care, especially isolated sites	Organisation of 24/7 access to teleconsultations (surgeon, anaesthesiologist, cardiologist); transmission of images (ECG, ultrasound, CT)	Standardized communication protocols and backup channels (internet / satellite / radio) are essential
Routing and evacuation planning	Station, small hospital, regional centre	Assessment of evacuation time, weather, aircraft availability, readiness of the receiving center; use of «weather windows»	Requires pre-established schemes of interaction with SAR (search and rescue) and aviation services and several backup routes
Prevention of hypothermia and coagulopathy	Prehospital stage, operating room	Active temperature control (insulation, warming of infusions), early diagnosis and correction of coagulopathy, minimization of blood loss	In polar conditions, prevention and treatment of hypothermia is a key element of DCR
Team training and coordination	All levels	Scenario-based training for severe trauma, clearly defined roles within the team, coordination with rescue services, aviation and ship crews	Under staff shortage, rational distribution of tasks between the physician, paramedic, nurse and non-medical personnel is critical

Фигура полярного хирурга объединяет клиническую, организационную и коммуникационную компоненты. От его готовности к DCS-подходу, владения базовыми техниками и умения использовать международные сети сотрудничества зависит исход единичных, но крайне тяжёлых случаев травмы

и острой хирургической патологии в полярных регионах. Предлагаемая маршрутизация тяжело травмированного пациента в полярном регионе и алгоритм выбора между локальным вмешательством формата damage-control и эвакуацией показаны на рис. 3 и 4.



Рис. 3. Маршрутизация тяжёлого полярного пациента

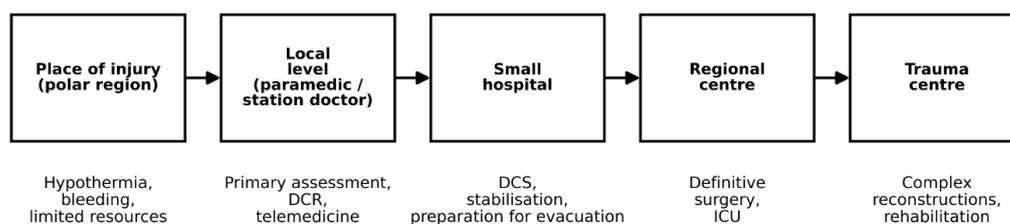


Fig. 3. Care pathway for a severely injured patient in polar regions

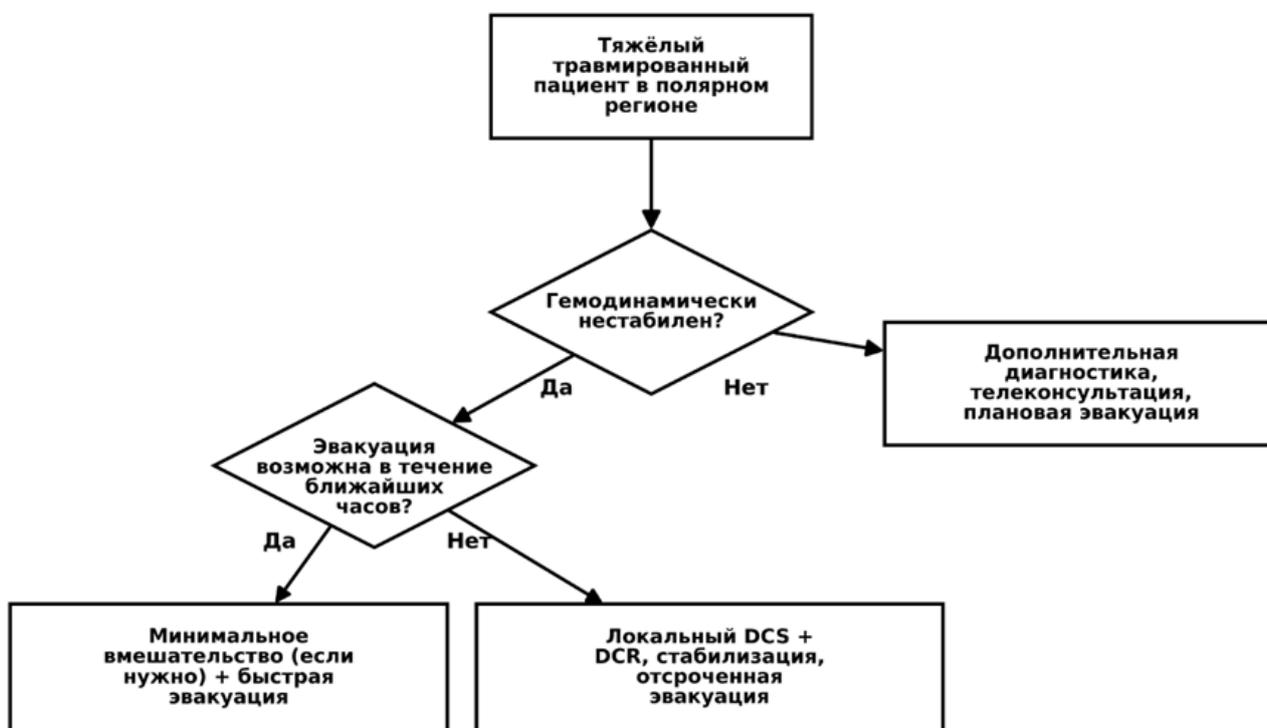


Рис. 4. Упрощённый алгоритм выбора: локальный DCS или эвакуация

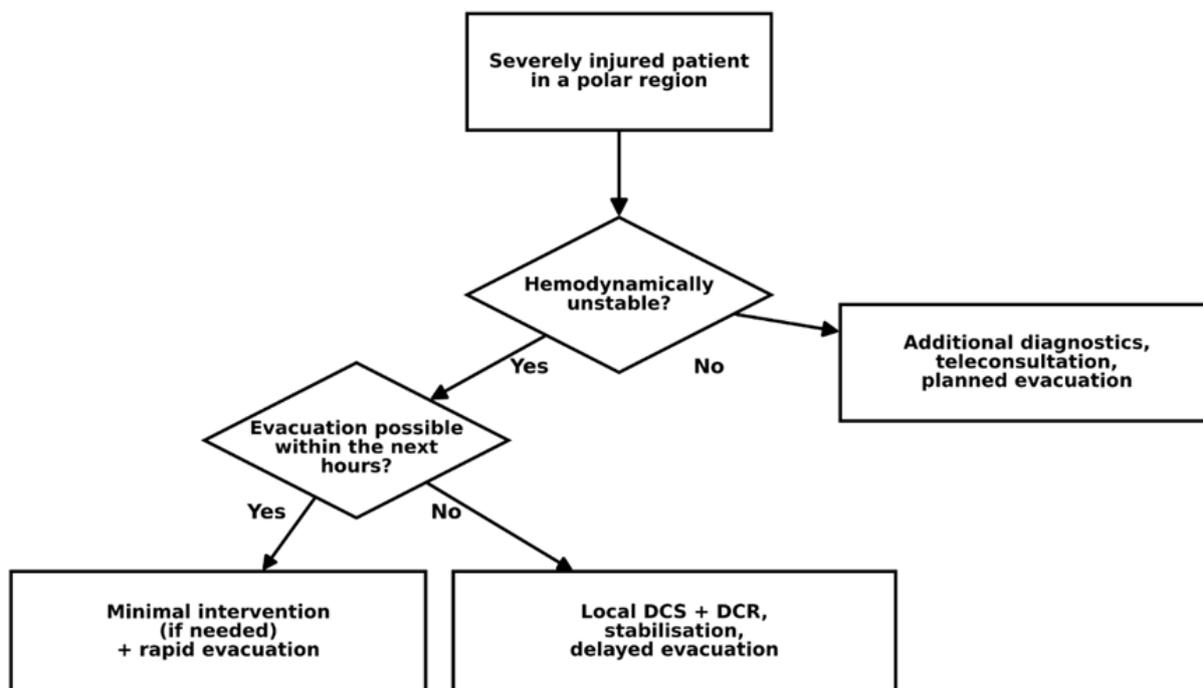


Fig. 4. Simplified decision algorithm: local DCS versus evacuation

## Ограничения и направления будущих исследований

Имеющаяся литература по хирургии травмы в полярных регионах характеризуется рядом ограничений. Большинство публикаций представляют собой ретроспективные серии наблюдений, описания отдельных клинических случаев или отчёты экспедиций, что затрудняет количественную оценку исходов и сравнение различных моделей помощи [19–24]. Данные по российской Арктике и Крайнему Северу представлены крайне ограниченно и фрагментарно [25–27]. В ряде случаев DCS/DCR/PFC в полярных условиях описываются через экстраполяцию опыта военно-полевой хирургии и экспедиционной медицины без детальной адаптации к специфике северных территорий [1–4, 5–7, 8–11, 19–22, 27].

Перспективными направлениями исследований являются создание международных регистров полярного травматизма и неотложной хирургической патологии, стандартизация протоколов DCS/DCR/PFC для Арктики и Антарктики, разработка единых критериев принятия решения об операции и эвакуации, а также оценка эффективности телемедицинских моделей поддержки хирургов и врачей общей практики в изолированных регионах [19–22, 24, 28, 30–32]. Особое внимание заслуживают три сквозных направления, интегрирующие полевую, полярную, горную и космическую хирургию: (1) проектирование и тестирование автономных хирургических модулей для арктических посёлков, высокогорных лагерей, морских экспедиций и перспективных орбитальных/лунных миссий; (2) изучение управляемой гипотермии и методик *emergency preservation and resuscitation* как инструмента «защитного гипобиоза» при тяжёлой травме; (3) исследование регенерации и заживления костной и мягких тканей в условиях холода, гипоксии и микрогравитации с целью последующего переноса этих знаний в обычную хирургическую практику [20, 27, 35–40].

## Выводы

Поэтапная тактика лечения травмы с применением DCS/DCR/PFC в полярных регионах позволяет адаптировать объём операции к реальным ресурсам

и эвакуационным возможностям, снижая риск фатальных осложнений. Обобщенный опыт военно-полевой и полярной хирургии может быть использован при разработке протоколов помощи при тяжёлой травме в северных регионах России и других стран, а также служить методологической основой для последующих исследований травмы в высокогорных районах и перспективных космических миссиях. Перспективные направления включают разработку автономных хирургических модулей, протоколов контролируемой гипотермии (EPR), создание телемедицинских систем и регистров полярной травмы с моделированием эвакуационных сценариев, а также изучение регенерации тканей в экстремальных условиях. Дополнительно следует учитывать влияние локальной (в том числе аппаратной) гипотермии на клеточные процессы и микроциркуляцию, что может иметь значение при выборе тактики температурного менеджмента в условиях холода [46, 47].

## References/Список литературы

1. Giannou C, Baldan M. *War Surgery: Working with Limited Resources in Armed Conflict and Other Situations of Violence*. Vol 1–2. Geneva: ICRC; 2010–2013.
2. Rotondo MF, Schwab CW, McGonigal MD, Phillips GR 3rd, Fruchterman TM, Kauder DR, Latenser BA, Angood PA. «Damage control»: an approach for improved survival in exsanguinating penetrating abdominal injury. *J Trauma*. 1993;35(3):375–382; discussion 382–383.
3. Holcomb JB, Jenkins D, Rhee P, Johannigman J, Mahoney P, Mehta S, Cox ED, Gehrke MJ, Beilman GJ, Schreiber M, Flaherty SF, Grathwohl KW, Spinella PC, Perkins JG, Beekley AC, McMullin NR, Park MS, Gonzalez EA, Wade CE, Dubick MA, Schwab CW, Moore FA, Champion HR, Hoyt DB, Hess JR. Damage control resuscitation: directly addressing the early coagulopathy of trauma. *J Trauma*. 2007;62(2):307–310. doi:10.1097/TA.0b013e3180324124.
4. World Health Organization. *Surgical Care at the District Hospital*. Geneva: WHO; 2003.
5. Reva VA, Samokhvalov IM, editors. *Rukovodstvo po voenno-polevoy khirurgii* [Military field surgery manual]. Saint Petersburg: VMedA; 2020. (In Russian). [Руководство по военно-полевой хирургии / под ред. В.А. Ревы, И.М. Самохвалова. СПб.: ВМедА, 2020.]
6. Samokhvalov IM, Goncharov AV, Reva VA, editors. *Prakticheskoe rukovodstvo po DAMAGE CONTROL* [Practical guide to damage control]. Saint Petersburg: VMedA; 2020. (In Russian). [Практическое руководство по DAMAGE CONTROL / под ред. И.М. Самохвалова, А.В. Гончарова, В.А. Ревы. СПб.: ВМедА, 2020.]
7. Petrov VP, Ermolov AS. *Neotlozhnaya khirurgiya travmy* [Emergency trauma surgery]. Moscow: GEOTAR-Media; 2018. (In Russian). [Петров В.П., Ермолов А.С. Неотложная хирургия травмы. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2018.]

8. Joint Trauma System. *Damage Control Resuscitation. Clinical Practice Guideline*. US DoD; 2018.
9. Keenan S. Prolonged field care: beyond the «golden hour». *Wilderness Environ Med*. 2017;28(2S): S135-S143. doi:10.1016/j.wem.2017.02.008.
10. Shackelford SA, Del Junco DJ, Powell-Dunford N, Mazuchowski EL, Howard JT, Kotwal RS, Gurney J, Butler FK Jr, Gross K, Stockinger ZT. Association of prehospital blood product transfusion during medical evacuation of combat casualties in Afghanistan with acute and 30-day survival. *JAMA*. 2017;318(16):1581–1591. doi:10.1001/jama.2017.15097.
11. Shlaifer A, Siman-Tov M, Radomislensky I, Peleg K, Klein Y, Glassberg E, Yitzhak A. The impact of prehospital administration of freeze-dried plasma on casualty outcome. *J Trauma Acute Care Surg*. 2019;86(1):108–115. doi:10.1097/TA.0000000000002094.
12. Tissot C, Lecordier M, Hitier M. Surgical epidemiology of Antarctic stations from 1904 to 2022: a scoping review. *Int J Circumpolar Health*. 2023;82(1):2235736.
13. Taub S, Parsi K. Telemedicine-assisted self-treatment at the South Pole. *Virtual Mentor (AMA J Ethics)*. 2001;3(3):91–93.
14. Rogozov V. Auto-appendectomy in the Antarctic: case report. *BMJ*. 2009;339: b4965.
15. Australian Antarctic Division. *Health care in Antarctica: medical handbook*. Hobart; 2021.
16. NATO. *Allied Joint Doctrine for Medical Support (AJP-4.10)*. Brussels: NATO Standardization Office; 2019.
17. Howard JT, Kotwal RS, Stern CA, Janak JC, Mazuchowski EL, Butler FK Jr. Use of combat casualty care data to assess the US military trauma system during the Afghanistan and Iraq conflicts, 2001–2017. *JAMA Surg*. 2019;154(7):600–608.
18. Shapkin YuG, Seliverstov PA, Stekolnikov NYu, Ashevsky VV. Dogospitalnaya pomoshch po printsipam damage control resuscitation v usloviyakh sovremennykh boevykh deystviy [Prehospital care based on damage control resuscitation principles in modern combat]. *Mediko-biologicheskie i sotsialno-psikhologicheskie problemy bezopasnosti v chrezvychaynykh situatsiyakh*. 2022;(4):55–65. (In Russian). [Шапкин Ю.Г., Селиверстов П.А., Стекольников Н.Ю., Ашевский В.В. Догоспитальная помощь по принципам damage control resuscitation в условиях современных боевых действий // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. 2022. № 4. С. 55–65.]
19. Barris D, Dogerti P, Elliot D. *Ekstrennaya voennaya khirurgiya* [Emergency military surgery]. Moscow: MEDprof; 2024. (In Russian). [Баррис Д., Догерти П., Эллиот Д. Экстренная военная хирургия. М.: МЕДПРОФ, 2024. 528 с.]
20. Eliseev MS, Kozlov IA. *Medsina katastrof v usloviyakh Kraynego Severa* [Disaster medicine in the Far North]. Arkhangelsk: Northern State Medical University (SGMU); 2019. (In Russian). [Елисеев М.С., Козлов И.А. Медицина катастроф в условиях Крайнего Севера. Архангельск: СГМУ, 2019.]
21. Popov VV, Sazanov AV. Organization of emergency medical care in Arctic settlements. *Arctic Med Res*. 2020;79(2):45–52.
22. Lunde LK, Koch A, Nielsen H. Medical challenges in Arctic expeditions: a review. *Wilderness Environ Med*. 2019;30(4):375–383.
23. Butler FK, Holcomb JB, Shackelford SA. Tactical Combat Casualty Care Guidelines. *J Spec Oper Med*. 2020;20(4):13–38.
24. Mazuchowski EL, Kotwal RS. Mortality review of US special operations battle-injured fatalities. *J Trauma Acute Care Surg*. 2019;87(4):796–803.
25. Riesberg JA, Powell D. The loss of the golden hour: challenges of future military operations. *Special Warfare*. 2017;30(4):10–16.
26. Stepanov AV, Alekseev NB. *Anesteziologya i intensivnaya terapiya v polevykh usloviyakh* [Anesthesiology and intensive care in field conditions]. Moscow: Meditsinskaya literatura; 2017. (In Russian). [Степанов А.В., Алексеев Н.Б. Анестезиология и интенсивная терапия в полевых условиях. М.: Медицинская литература, 2017.]
27. Khazanov AI, Kulikov VP. Gipotermiya i travmaticheskaya koagulopatiya: klinicheskie aspekty [Hypothermia and trauma-induced coagulopathy: clinical aspects]. *Khirurgiya*. 2021;(6):70–76. (In Russian). [Хазанов А.И., Куликов В.П. Гипотермия и травматическая коагулопатия: клинические аспекты // Хирургия. 2021. № 6. С. 70–76.]
28. Ikeda A, Ohno G, Otani S, Watanabe K, Imura S. Disease and injury statistics of Japanese Antarctic research expeditions during the wintering period: evaluation of 6837 cases in the 1st–56th parties — Antarctic health report in 1956–2016. *Int J Circumpolar Health*. 2019;78(1):1611327. doi:10.1080/22423982.2019.1611327.
29. Ytterstad B, Norheim J. Snowmobile injuries in Svalbard — a three year study. *Int J Circumpolar Health*. 2001;60(4):685–691.
30. Penninga L, Lorentzen AK, Davis C. A telemedicine case series for acute medical emergencies in Greenland: a model for remote triage and evacuation. *Telemed J E Health*. 2015;21(6):423–429.
31. Pedersen HB. Medical evacuations in Greenland in 2018. *Int J Circumpolar Health*. 2022;81(1):2014634.
32. Dahl E. Medical cruise challenges in Antarctica. *J Travel Med*. 2014;21(4):223–224.
33. Eron L, King P, Marineau M. Telemedicine services for the Arctic: a systematic review. *JMIR Med Inform*. 2017;5(2): e16.
34. Carron M, Hamard F, Levraut J, Blondeau N. An acute coronary syndrome in Antarctica. *Int Marit Health*. 2019;70(3):167–169.
35. Kheirbek T, Kochanek PM, Alam HB. Hypothermia in bleeding trauma: a friend or a foe? *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2009;17:65.
36. Alam HB. Translational barriers and opportunities for emergency preservation and resuscitation in severe trauma. *Br J Surg*. 2012;99(Suppl 1):29–39.
37. Anderson A, Theophanous RG. Point-of-care ultrasound use in austere environments: a scoping review. *PLoS One*. 2024;19(12): e0312017.
38. Puhl C, Wessels N, Dang H, Beyer F. Wound management and healing in space. *Front Bioeng Biotechnol*. 2022;10:958515. doi:10.3389/fbioe.2022.958515.
39. Chen P, Guo W, Chen J, Chen X, Li J, Liu S. Impact of high-altitude hypoxia on bone defect repair: a review of molecular mechanisms and therapeutic implications. *Front Med (Lausanne)*. 2022;9:842800.
40. Juhl OJ IV, Buettmann EG, Friedman MA, DeNapoli RC, Hoppock GA, Donahue SW. Update on the effects of microgravity on the musculoskeletal system. *NPJ Microgravity*. 2021;7:28. doi:10.1038/s41526–021–00158–4.
41. Li S, Okada Y, Gu W, Chen MH, Do SN, Pham QD, Hoang QTA, Ong MEH, Liu N; PAROS Investigators. Leveraging AI and transfer learning to enhance out-of-hospital cardiac arrest outcome prediction in diverse setting. *NPJ Digit Med*. 2025;8:716. doi:10.1038/s41746–025–02088-x.
42. Jóhannsson SA. *Supervised Machine Learning for Identification of Severely Injured Trauma Patients*. Master's thesis. KTH Royal Institute of Technology; 2024.
43. Adams SJ, Burbridge B, Chatterson L, Babyn P, Mendez I. A telerobotic ultrasound clinic model of ultrasound service delivery to improve access to

imaging in rural and remote communities. *J Am Coll Radiol*. 2022;19(1 Pt B):162–171. doi:10.1016/j.jacr.2021.07.023.

44. Marshall S, Miller A, Xiao Y. Development of team coordination and performance measures in a trauma setting. *Proc Hum Factors Ergon Soc Annu Meet*. 2007;51(11):717–721.

45. Valdivia de la Fuente M, Palacios Castañeda DJ, Martínez Sanz N. The human factor and ergonomics in patient safety. *Med Intensiva (Engl Ed)*. 2025;49(2):96–104. doi:10.1016/j.medine.2024.03.014.

46. Guseynov NA, Ivashkevich SG, Boyko EM. Physiological features of cells and microvasculature under the local hypothermia influence. *RUDN Journal of Medicine*. 2022;26(1):34–41. doi:10.22363/2313-0245-2022-26-1-34-41. (In Russian). [Гусейнов Н.А., Ивашкевич С.Г., Бойко Э.М. Физиологические

особенности клеток и микрососудистого русла при воздействии локальной гипотермии // Вестник РУДН. Серия: Медицина. 2022. Т. 26. № 1. С. 34–41. doi:10.22363/2313-0245-2022-26-1-34-41.]

47. Guseynov NA, Hammouri MH, Muraev AA, Ivanov SY, Lukianova EA, Klimenko AS, Noerazlighi MA. Local hardware hypothermia influence on the physiological processes. *RUDN Journal of Medicine*. 2022;26(3):243–258. doi:10.22363/2313-0245-2022-26-3-243-258. (In Russian). [Гусейнов Н.А., Хаммури М.Х., Мураев А.А., Иванов С.Ю., Лукьянова Е.А., Клименко А.С., Ноеразлиги М.А. Влияние локальной аппаратной гипотермии на физиологические процессы // Вестник РУДН. Серия: Медицина. 2022. Т. 26. № 3. С. 243–258. doi:10.22363/2313-0245-2022-26-3-243-258.]

*Ответственный за переписку:* Скурлатов Тимофей Алексеевич, студент 6 курса, Институт клинической медицины им. Н.В. Склифосовского, ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский Университет), фельдшер выездной бригады, ГБУЗ «Станция скорой и неотложной медицинской помощи им. А.С. Пучкова ДЗМ», Москва, Российская Федерация. 119991, Российская Федерация, г. Москва, ул. Трубецкая, д. 8, строение 2; E-mail: timofey.skurlatov@gmail.com

Скурлатов Т.А. ORCID 0009-0009-4090-7284

*Corresponding author:* Timofey Alekseevich Skurlatov, 6th-year medical student, Sklifosovsky Institute of Clinical Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), paramedic (field ambulance crew), A.S. Puchkov Moscow Ambulance and Emergency Medical Care Station 119991, Russian Federation, Moscow, Trubetskaya Street, 8, bldg. 2. E-mail: timofey.skurlatov@gmail.com

Skurlatov T.A. ORCID 0009-0009-4090-7284