

Современные проблемы биосферы



**Проблемы
экологии
полярных
областей**

Издательство «Наука»

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
НАУЧНЫЙ СОВЕТ ПО ПРОБЛЕМАМ БИОСФЕРЫ



Современные проблемы биосферы



Редколлегия серии "Современные проблемы биосферы":

Председатель – академик **А.В. СИДОРЕНКО**

Члены редколлегии:

чл.-корр. АН СССР Г.В. ВОРОПАЕВ,
акад. И.П. ГЕРАСИМОВ (зам. председателя),
к.г.н. А.М. ГРИН, чл.-корр. АН СССР Ю.А. ИЗРАЭЛЬ,
Т.Н. КАСТРЕЛЬ (ответственный секретарь),
чл.-корр. АН СССР В.А. КОВДА,
чл.-корр. АН СССР В.Н. КУДРЯВЦЕВ, акад. Б.Н. ЛАСКОРИН,
акад. В.Е. СОКОЛОВ, чл.-корр. АН СССР Т.Т. ТИМОФЕЕВ,
акад. Н.П. ФЕДОРЕНКО, акад. А.В. ФОКИН,
акад. А.Л. ЯНШИН (зам. председателя)

Современные проблемы биосферы



4031

Проблемы экологии полярных областей

ИЗДАТЕЛЬСТВО "НАУКА"

МОСКВА 1983



Проблемы экологии полярных областей. М.: Наука, 1983.

Настоящий сборник представляет собой труды школы-семинара секции проблем полярных областей Научного совета АН СССР по проблемам биосферы. В сборнике представлены статьи ведущих специалистов по различным отраслям знаний, занимающихся изучением природы Арктики. Проанализировано состояние наземных арктических экосистем и их отдельных элементов, таких, как ледники, вечномёрзлые грунты и т.д. Другая часть статей посвящена изучению состояния водных экосистем. Подчеркивается специфичность арктических экосистем и обосновывается необходимость разработки особых теоретических подходов к охране окружающей среды и природопользованию в Арктике и Субарктике.

Ответственный редактор
Член-корреспондент АН СССР
Г.В. ВОРОПАЕВ

Предисловие

В настоящее время определены долгосрочные планы хозяйственного освоения арктических районов нашей страны. В Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981—1985 гг. и на период до 1990 г. подчеркивается необходимость рационального использования и усиления охраны природных богатств шельфовой зоны арктических морей, подготовительных работ по переброске части стока северных рек на юг, обеспечения круглогодичной навигации в западной части Северного морского пути, продолжение формирования Тимано-Печорского и других ТПК, расположенных в зоне Севера.

В связи с этим ожидается возрастание антропогенных нагрузок на наземные и морские экосистемы Арктики и Субарктики. В результате суровых условий существования экосистем в арктической зоне и их пониженной сопротивляемости антропогенному воздействию, может возникнуть реальная угроза нарушения сложившегося здесь экологического равновесия. В этих условиях важнейшей задачей научных исследований в Арктике становится разработка долговременных программ рационального природопользования и теоретических основ прогноза возможных экологических последствий антропогенного воздействия на природную среду с учетом физико-географических особенностей региона, что потребует в ближайшее время организации системы эффективного контроля за состоянием всех элементов природной среды и осуществления экологического мониторинга.

Работы такого масштаба на обширнейших арктических территориях могут быть выполнены при объединении усилий широкого круга научно-исследовательских и проектных организаций с привлечением всех заинтересованных в эксплуатации этого региона министерств и ведомств.

Для координации научных исследований в полярных областях Земли в составе Научного совета АН СССР по проблемам биосферы создана секция "Проблем полярных областей", возглавляемая академиком АН СССР А.Ф. Трешниковым.

Школа-семинар секции "Проблемы экологии полярных областей", проходившая в г. Мурманске в апреле 1980 г., стала первым мероприятием, собравшим ведущих ученых нашей страны для обсуждения проблем комплексного исследования природных условий Арктики и Субарктики и охраны ее природы. Одной из основных задач школы-семинара было обобщение имеющихся наблюдений по различным элементам природной среды в Арктической зоне и выявление их значимости для целей комплексной оценки состояния природы арктической зоны с экологических позиций.

Для проведения школы-семинара был выбран г. Мурманск, — центр наиболее развитой в промышленном отношении и самой густонаселенной области, расположенной за полярным кругом. Многолетний опыт индустриального освоения природных богатств этого региона позволил

накопить ученым Кольского филиала АН СССР богатый опыт по организации рационального природопользования в арктических условиях и охране легко ранимой природы Севера.

Школа-семинар была организована совместно с Географическим обществом СССР на базе Мурманского филиала ААНИИ. В ее организации и проведении неоценимую помощь оказали Мурманский обком КПСС и Горисполком, Северный филиал Географического общества СССР, а также председатель Президиума Кольского филиала АН СССР член-корреспондент АН СССР Г.И. Горбунов.

За время работы школы-семинара ученые не только обменялись мнениями по важнейшим проблемам экологии арктической зоны, но и выработали ряд рекомендаций, которые могут быть использованы в практической деятельности советских и партийных органов в северных районах нашей страны при разработке мероприятий по рациональному использованию природных богатств Арктики при условии сохранения ее природы.

Основные направления научных исследований в Арктике на современном этапе освоения ее природных ресурсов

А.Ф. Трешников

Необходимость комплексного исследования природы полярных областей Земли вызвана рядом причин. Это и до сих пор наиболее слабо изученные области Земли и немногие из оставшихся на Земле областей, изменения природных условий которых в результате антропогенных влияний еще незначительны. Кроме того в настоящее время в связи с долгосрочным планом хозяйственного освоения арктических территорий имеется возможность использовать их в качестве эталонных участков для организации глобального мониторинга и наблюдений за тенденциями возможных изменений в биосфере под воздействием хозяйственной деятельности человека.

В физико-географическом отношении районы с низкими температурами воды и воздуха, с мощным ледовым покровом и вечной мерзлотой создают жесткие условия для существования полярных экосистем.

Интенсивное освоение ресурсов полярных и приполярных областей возможно при комплексном подходе к проблеме для решения не только экологических, но и социально-экономических и правовых проблем.

Быстрое освоение полярных областей потребует создания предпосылок для нормальной работы инженерных сооружений и жизни населения в необычных климатических и психологических условиях.

За последние десятилетия советскими учеными выполнен обширный комплекс исследований, направленных на изучение природных условий и ресурсов северной полярной области. В результате этих исследований выявлены наиболее общие закономерности и вскрыты причины, обуславливающие изменение природных условий Арктики и гидрометеорологического режима Северного Ледовитого океана. Значительные успехи достигнуты в создании методов метеорологических, ледовых и гидрологических прогнозов, обеспечивающих нужды народного хозяйства и в теоретических разработках проблем полярной океанологии, физической географии моря и суши, а также состояния загрязненности вод, льдов и снежного покрова. По отдельным направлениям исследований в полярных областях накоплен и обобщен довольно обширный объем научных материалов, позволяющий получить достаточно полное представление об общих закономерностях процессов, протекающих в природной среде полярных областей. В области, например, океанологии, метеорологии, ледового режима и т. п. исследования будут идти по пути углубления наших знаний и уточнения деталей выявленных общих закономерностей.

Результаты исследований природных условий и ресурсов северной полярной области позволяют составить достаточно полную характеристику природных условий арктических территорий и Северного Ледовитого океана на современном уровне освоения ее природных богатств. Однако даже очень точные сведения по каждому из природных явлений в отдель-

ности не могут дать полного представления о жизни региона как единой географической системы, где изменение процессов в любой из сфер географической оболочки Земли (гидросфера, атмосфера, литосфера, биосфера) через цепочку связей отражается на всей системе в целом.

В настоящее время в зоне Севера в предшествующие периоды уже сложился ряд региональных хозяйственных комплексов и крупных промышленных узлов, использование которых в крупных масштабах решает важные задачи экономического развития страны на ближайшую и дальнюю перспективы. В их числе наиболее важные комплексы: Кольский, Норильский, Верхнеколымский. Примерами крупнейших перспективных комплексов, находящихся в стадии интенсивного развития или начала формирования являются Западно-Сибирский, Тимано-Печорский и Якутский комплексы.

Огромные ресурсы полярных районов, в том числе и их водные ресурсы, и все возрастающие темпы их освоения заставляют очень остро поставить вопрос о взаимоотношениях человека с легко ранимой природой Арктики. Природные комплексы арктической зоны уже сейчас подвергаются многообразным антропогенным воздействиям, последствия которых могут быть крайне неблагоприятными в географическом, экологическом, экономическом и социальном отношениях, а в отдельных случаях носить необратимый характер. В ближайшие годы в хозяйственный оборот будут вовлекаться огромные территории Арктики и Субарктики в связи с разведкой и эксплуатацией месторождений полезных ископаемых, в том числе и на шельфе арктических морей. Намечены мероприятия по перераспределению водных ресурсов северных рек, строительству городов и поселков, железных и шоссейных дорог, трубопроводов и т. п. Деятельность человека становится мощным фактором воздействия на природу арктических районов; это воздействие в окрестностях промышленных центров уже сейчас превосходит силы природы.

На этом этапе основными направлениями научных исследований в арктических районах должны стать исследования, направленные в первую очередь на получение данных для разработки прогноза возможных изменений окружающей среды и природных явлений, связанных с антропогенным воздействием, предложено научное гидрометеорологическое обоснование проектных решений и народнохозяйственных мероприятий, а также налажено получение информации о состоянии и изменении географических ландшафтов.

Очевидно, что в сложившейся обстановке необходимо незамедлительно максимально расширить исследования природных комплексов полярных областей Земли, выяснить закономерности их существования и развития, процессы возобновления возобновимых ресурсов в естественных условиях. Надо осуществить ряд государственных социально-экономических и организационно-правовых мероприятий, направленных на пресечение деятельности, отрицательно сказывающейся на природе полярных областей и тем самым подрывающей базу будущего развития производительных сил в этих районах. В первую очередь это относится к северным районам Европейской территории страны и Западной Сибири, где планируются крупномасштабные гидротехнические мероприятия.

В программе комплексных исследований полярных областей Земли

особое внимание должно быть уделено вопросам изучения направленности и интенсивности природных процессов в целях их долгосрочного прогнозирования и научного обоснования мероприятий по использованию природных ресурсов, предупреждению и ограничению возникающих при этом отрицательных последствий. К первоочередным проблемам можно отнести следующие:

изучение особенностей формирования и распределения ледового покрова Арктики и Антарктики как одного из важнейших факторов, формирующих климат и определяющих существование экосистем в этих областях Земли;

возможные количественные и качественные изменения составляющих водного баланса арктической зоны в условиях интенсивного хозяйственного освоения этих районов в связи с планируемым перераспределением стока;

изучение возможных изменений геокриологической обстановки в условиях интенсивного народнохозяйственного освоения полярных территорий и разработка методов и способов рекультивации нарушенных в результате деятельности человека географических ландшафтов;

изучение термодинамики и эволюции полярных ледников и ледниковых покровов и их взаимосвязей с природной средой Арктики и Антарктики;

изучение баланса льда, солей, влаги и тепла в Северном Ледовитом и Южном океанах и их влияние на климат Земли;

изучение биологических и минеральных ресурсов океанов и морей с целью их возможного использования для нужд народного хозяйства с обеспечением их самовоспроизводства и охраны;

разработка научных основ оценки условий жизни населения в арктических областях;

разработка научных основ регионального и глобального прогноза климата;

разработка научно обоснованных принципов и критериев оценки последствий влияния хозяйственной деятельности на окружающую среду и ресурсы полярных территорий;

вопросы теории и практики правовой охраны окружающей среды и природных ресурсов полярных областей;

изучение особенностей структуры и динамики функционирования полярных экосистем;

разработка сети станций для организации глобального мониторинга и наблюдений за тенденциями возможных изменений в биосфере и климате Земли под воздействием деятельности человека.

Традиционные методы обобщения материалов и частных прогнозов по отдельным элементам природной среды не позволяют составить комплексный прогноз ее возможных изменений. Разработка прогноза изменений природной среды в результате антропогенного воздействия и проведение необходимых природоохранных мероприятий должны основываться на теоретических разработках и выводах всех компонентов наук, входящих в физическую и социально-экономическую географию. Следует учитывать особенности полярных областей как единого целого —

среды обитания (воздушная, водная среда, суша с присущими им физическими, химическими и другими характеристиками) и характерных для нее биогеоценозов. При этом следует исходить из факта существования полярных систем в жестких условиях, что требует особого внимания к сохранению природной среды и особенно животного и растительного мира, развивающихся в среде предельно неустойчивого равновесия.

Изучение полярных территорий как специфической географической зоны требует разработки и реализации комплексных программ исследований, охватывающих весь диапазон характеристик природной среды: среды обитания и биогеоценозов. В то же время при обобщении результатов научных исследований в Арктике был выявлен целый ряд пробелов, которые существенно затрудняют выполнение поставленной задачи. Это в первую очередь касается слабой изученности биологической составляющей полярных экосистем, а также химических, биохимических и геохимических процессов, играющих решающую роль при взаимодействии биотопов и биоценозов экосистемы арктической зоны.

Очевидно, что комплексные исследования могут быть выполнены только объединенными силами многих институтов различного профиля под руководством единого регионального центра и на основе долговременных комплексных программ. На современном этапе интенсивного хозяйственного освоения Арктики эти программы должны составляться с учетом географических и экономических оценок, отражающих направленность и интенсивность природных процессов. Исследования должны проводиться с целью долгосрочного прогнозирования и научного обоснования мероприятий по использованию природных ресурсов, по предупреждению и ограничению возникающих отрицательных последствий. При этом комплексные программы исследований необходимо разрабатывать на региональной основе с учетом физико-географических особенностей арктической природы, определяющих ее повышенную восприимчивость к антропогенным воздействиям.

Уже первый опыт комплексной оценки возможных изменений природной среды арктической зоны при перераспределении водных ресурсов позволил выявить целый ряд крупных недостатков в планировании и организации исследований. Для арктических районов явно недостаточно разработаны принципы и методика территориального планирования природоохранных мероприятий. Нет согласованных и четко сформулированных принципов рационального природопользования, учитывающего специфику природных и социально-экономических условий Севера. Кроме того, вся арктическая зона в целом не обеспечена в достаточной мере информацией, необходимой для научного обоснования прогнозов возможных изменений природных условий и разработки природоохранных мероприятий. Эти недостатки во многом обусловлены отсутствием долговременных целенаправленных программ исследований, учитывающих как физико-географические особенности, так и социально-экономическую перспективу региона. Разработка и осуществление такой программы на региональной основе позволит:

во-первых, на более высоком уровне решить традиционные задачи по изучению основных закономерностей развития природных процессов в их единстве и взаимосвязи;

во-вторых, обеспечить контроль за состоянием природной среды и тенденциями ее изменений под антропогенным воздействием;

в-третьих, создать базу для разработки научно обоснованных прогнозов по возможным изменениям природной среды при интенсивном освоении ресурсов арктических районов и принять необходимые меры по охране окружающей среды и предотвращению негативных последствий хозяйственной деятельности человека.

Работы такого масштаба на обширных арктических территориях могут быть выполнены при объединении усилий широкого круга научно-исследовательских и проектных организаций с привлечением всех заинтересованных в эксплуатации природных ресурсов этого региона министерств и ведомств.

УДК 911.52 (98)

Географические границы действия экологических систем в Арктике

Е.С. Короткевич

Природные условия Арктики определяются в первую очередь ее высокочиротным положением — низким стоянием солнца над горизонтом, явлением полярного дня и полярной ночи. Зональный фактор — малое по сравнению с другими поясами поступление солнечного тепла на земную поверхность — определяет особенности природных процессов и явлений Арктики.

Зональность как основная закономерность структуры географической оболочки принята в настоящее время большинством географов. Другой основной закономерностью считается аazonальность. Однако если зональность отражает известную упорядоченность явлений природы на Земле, обусловленную закономерным изменением количества солнечного тепла, поступающего на земную поверхность от полюсов к экватору, то аazonальность — это отрицание зональности, т. е. понятие негативное, отрицающее эту упорядоченность, но не дающее взамен какой-либо другой общей системы упорядоченности природных явлений. Поэтому, если понятие зональности может служить для создания закономерных схем распределения природных явлений на поверхности Земли, то аazonальность в общем виде нам в этом отношении ничего не дает.

Существует ряд частных закономерностей, объединенных под общим термином аazonальности, обусловленных распределением океанов и материков, особенностями орографии континентов (в том числе высотная поясность), геологическим строением и рядом других факторов. Общим для этих закономерностей является то, что в их основе лежат различия в геологической истории разных участков поверхности Земли. Нельзя уловить никакой общей, свойственной всей географической оболочке закономерности в распределении аazonальных явлений. Следовательно,

за основную закономерность географической среды следует принимать только зональность, а под азональностью понимать все те явления в географической оболочке, которые нарушают зональность (а не создают своей общей закономерности), и каждое из которых подчинено своей, уже второго порядка по отношению ко всей географической оболочке закономерности.

Но при конкретном физико-географическом районировании факторы азональности играют значительную роль. Развитие земной коры привело к такой резкой азональной дифференциации поверхности, что для физико-географического районирования, так же, как и для частных природных районирований, подчас большее значение имеют именно азональные факторы. Так, часто за наиболее крупную единицу районирования суши принимается материк, а не зона или пояс, хотя распределение материков не подчинено какой-либо общей закономерности. Тем более при более дробном делении часто отдается предпочтение азональным факторам. Однако когда необходимо дать общую географическую, а тем более экологическую характеристику земного шара, она приводится в виде зонального описания. Иными словами, как бы ни было сильно влияние азональных факторов, зональность географической среды проявляется всегда. При этом как бы ни было глубоким искажение зональности, вызванное эндогенными факторами, в конечном счете в ходе развития оно сглаживается под действием зональных, экзогенных факторов. И только новые нарушения, вызываемые тектоническими причинами, препятствуют установлению на Земле полностью зональной структуры географической оболочки.

Несмотря на многочисленные попытки получения единых (иногда численных) критериев выделения наиболее крупных единиц районирования, до сих пор ни одна классификация природных областей не является общепринятой. Наиболее часто зоны критерий выделяют по типу растительности, так как он наиболее чувствительный индикатор на климатические и почвенно-грунтовые условия. Кроме того, растительность наиболее наглядно подчеркивает характер комплексного физико-географического процесса на той или иной территории. Вследствие искажающего влияния взаиморасположения материков и океанов, а также горных хребтов, широтная зональность растительного покрова в ряде случаев прослеживается с большим трудом. Но в Арктике широтная зональность выражена достаточно ярко, потому что здесь расположение суши и моря наиболее зонально, хотя отклонения границ зон от широтных и в этих местах достаточно велики. Самые общие критерии выделения зон отыскивались в явлениях, определяющих зональность. За основу брались радиационные, а затем различные климатические факторы. Использование только радиационных показателей не принесло успеха, так как взаимодействие солнечной радиации с разной подстилающей поверхностью приводит к резко различной физико-географической обстановке при одинаковых радиационных условиях и наоборот.

Для полярных районов, где развитие растительности, да и ряда других элементов географической среды, в значительной мере, а иногда и почти полностью, зависит от температурных условий лета, более удачным оказалось применение температурных показателей. Путем использования,

кроме летних температур, некоторых коэффициентов, связанных с годовыми и зимними температурами, удалось получить критерии, достаточно хорошо связанные с характером распределения растительности и других экзогенно обусловленных элементов географической оболочки. Огромную роль в развитии ландшафтов (экологических систем) играет, кроме тепла, влага. Поэтому наибольшее распространение получили критерии, основанные на учете обоих этих факторов.

В настоящее время особенно распространено деление географической оболочки на тепловые (температурные) или радиационные пояса. В частности, Арктика выделяется в северный холодный пояс, характеризующийся отсутствием лесной растительности, что определяется низкими температурами вегетационного периода (температура самого теплого месяца не превышает приблизительно 10°). На всю площадь этого пояса могут распространяться высокополярные (арктические) массы воздуха. Как известно, пояса, являющиеся наиболее крупными единицами физико-географического районирования, выделяющиеся преимущественно по количеству тепла, получаемого поверхностью Земли, обычно хорошо совпадают на материках и океанах.

Для холодного пояса характерны:

- 1) малые величины годового радиационного баланса (до $10-20$ ккал/см² на суше и $20-30$ ккал/см² в океане);
- 2) низкие температуры воздуха (в среднем за год ниже 5° и, что особенно важно, температура самого теплого месяца не выше $8-12^{\circ}$);
- 3) малое абсолютное количество влаги в воздухе, но вследствие низких температур большая относительная влажность и положительный баланс влаги (в отдельных районах полярных пустынь баланс влаги может быть отрицательным);
- 4) повсеместное распространение в океане полярных водных масс;
- 5) сплошное распространение вечной мерзлоты;
- 6) безлесье и бедность флористического состава;
- 7) специфичность и бедность фауны при огромных скоплениях отдельных видов.

Поскольку растительность — чуткий индикатор на другие элементы физико-географической оболочки, а кроме того, физиономически подчеркивает переходы от одних ландшафтов к другим, то и границу между холодным и умеренным поясом чаще всего определяют по смене растительности от безлесья к лесам. Эта граница, как, впрочем, и многие другие естественные границы, не линейна, а представляет собой более или менее широкую полосу лесотундры, где тундровые и лесные участки и элементы смешиваются и взаимопроникают. В средних частях материков довольно легко выделить лесотундру. Но у западных и восточных берегов, часто гористых, она выражена плохо. Большие трудности появляются при отнесении к тому или иному поясу островов, расположенных вблизи их границы. Лесотундрой, в широком смысле слова, называется переходная полоса между безлесными субполярными пространствами и бореальными лесами, безразлично, какими растительными ассоциациями те и другие представлены. В некоторых случаях лесная зона представлена безлесными ассоциациями (лугами, болотами, кустарниками), если они имеют характерные для лесной зоны черты. Кроме того, к лесотундре

относятся горные территории вблизи границы тундры и леса, на которых наблюдается чередование горно-долинных лесов с тундрами повышенных участков. При таком подходе полоса лесотундры, то более широкая, то совсем узкая, должна быть выделена на всем протяжении границы между тундрой и лесом.

Лесотундра не является единицей, равноценной по объему и содержанию основным зонам. Она не обладает крупными самостоятельными признаками, отличающими ее от соседних зон, если исключить то, что от тундровой зоны она отличается наличием лесов, а от лесов — наличием тундр со всем их комплексом природных элементов. Поэтому границы холодного пояса следует проводить, относя к последнему северную часть лесотундры, где древесная растительность встречается, как правило, только в речных долинах, а на водоразделах преобладают тундровые ассоциации. Южную часть лесотундры, где древесная растительность, хотя и разреженная (редко-лесная), на водоразделах преобладает, нужно относить к умеренному поясу.

Таким образом, граница холодного пояса проходит на суше по линии, разделяющей северную и южную лесотундру. В океане эта граница совпадает со сменой водных масс по линии полярного фронта, где полярные водные массы, поступающие из высоких широт, встречаются с водными массами, приходящими из более низких, умеренных или субтропических широт. На этой границе происходит резкая смена поверхностных водных масс и, следовательно, изменение их температуры и солености, что вызывает резкую смену биоценозов.

Вследствие вызываемых чередованием материков и океанов интенсивных субмеридиальных течений линия полярного фронта очень извилиста и не всегда достаточно определена. В ряде случаев наблюдается фронт теплых вод не с полярными водами, а с местными холодными водами (Берингово море). Однако почти повсюду можно проследить фронт схождения полярных вод с более южными.

По растительному покрову сравнительно хорошо можно районировать сушу, а по водным массам — океан. Однако морские и сухопутные границы не всегда совпадают и для проведения единых границ, охватывающих как сушу, так и море, необходимо использовать и другие критерии, например климатические показатели. Наиболее употребительны при проведении границ температурные критерии. Изотерма самого теплого месяца 10° проходит на суше близко к границе тундры и леса, а в океанах — к границе полярных водных масс и может служить для определения границ холодных поясов в тех районах, где два первых критерия не могут быть использованы.

Основные характерные признаки климата полярных пустынь, дающие основание для выделения их в особую зону, следующие. Годовой радиационный баланс в полярных пустынях, как правило, в среднем около 0 ккал/см^2 или отрицательный, температура самого теплого месяца обычно близка к 0° , содержание влаги в воздухе небольшое, а отсюда обычно невелико, а часто и очень мало количество осадков, характерна слоистая облачность, осадки даже летом выпадают обычно в твердом виде.

Типично для полярных пустынь оледенение. Оно проявляется здесь повсеместно как в форме морских и озерных льдов, часто не тающих в

течение лета, так и в виде ледников и вечной мерзлоты, сопровождающейся подземными льдами. Орографическая снеговая граница в полярных пустынях почти повсеместно находится на уровне моря. Климатическая снеговая граница также обычно располагается вблизи уровня моря, однако в районах с резким дефицитом влаги она проходит на высотах 1000–1500 м и даже выше. Такие контрасты в положении снеговой границы очень характерны для полярных пустынь.

Ледники покрывают большую часть территории зон полярных пустынь. Наиболее характерны ледниковые покровы и купола. Повсеместно развиты низкотемпературная многолетняя мерзлота. Грунтовые льды развиты слабо, поэтому процессы полигонообразования и термокарста слабо выражены.

Вследствие незначительной мощности деятельного слоя и малой влажности запас грунтовых вод в полярных пустынях очень мал, а осенью они быстро промерзают, поэтому сток в реках осуществляется только в короткий летний период. Основным источником питания рек являются талые воды, так как жидких осадков практически нет, а болота также отсутствуют. В связи с низкими температурами воздуха и повсеместным распространением многолетней мерзлоты разрушение горных пород в полярных пустынях происходит преимущественно под воздействием физического выветривания. Основную роль играет морозное выветривание, однако в отличие от тундр в полярных пустынях вследствие сухости воздуха и грунта преобладает температурное выветривание, в то время как химическое и особенно биохимическое выветривание подавлено. Оно в полярных пустынях выражается лишь в виде образования налетов пустынного загара на скалах, известковых и гипсовых корочек на поверхности и прослоек в грунте. Очень характерны для полярных пустынь золотые процессы, приводящие к образованию дефляционных ячей и ниш в скалах.

Суровость климатических условий и в первую очередь низкие температуры обуславливают чрезвычайное своеобразие почвенных процессов в полярных пустынях, что приводит к образованию совершенно особого типа почв. Здесь широко развиты суббиотические, почти безгумусные, примитивные скелетные почвы полигональной структуры мощностью в несколько десятков сантиметров. Режим влаги характеризуется восходящими токами растворов, что приводит к накоплению солей. Вследствие недостатка влаги оглеения не наблюдается. Поглощающий комплекс полностью насыщен основаниями при небольшой их сумме, реакция почв щелочная, нейтральная или слабо кислая.

Крайняя суровость климатических условий, в первую очередь низкие температуры лета, а в ряде районов и недостатков влаги, приводит к исключительной бедности и угнетенности растительности полярных пустынь. Отрицательно влияют на растительность также поверхности, недавно освободившиеся из-под ледникового покрова. Среди растительности преобладают лишайники, водоросли и мхи. Широко распространены прижатые к поверхности, ползущие и подушкообразные формы растений, темная окраска лишайников, водорослей и даже мхов. Семенное и споровое возобновление угнетено, но разнообразны формы вегетативного размножения. Разомкнуты не только подземные, но и надземные части растений. Из растительных ассоциаций развиты мохово-лишайниковые.

Биоценозы крайне бедны и просты. В большинстве случаев конкуренции между видами не наблюдается, чаще — симбиотические отношения.

В зоне полярных пустынь распространены три типа ландшафтов: водно-ледяной на акваториях, ледниковый (гляциальный) и приледниковый (пригляциальный) на суше.

Ледники распространены мало и обычно горные. Покровные ледники встречаются как исключение. Вечная мерзлота распространена не повсеместно, но очень широко развиты подземные льды, что обуславливает разнообразие и широкое распространение термокарста и криогенных форм рельефа. Морские и пресноводные льды летом, как правило, тают. Вследствие избыточного увлажнения и близости к поверхности многолетней мерзлоты коэффициент стока высок, поэтому питание рек в основном снежно-дождевое. Чрезвычайно широко распространены болота и озера, особенно термокарстовые.

Тундровый тип почв характеризуется преобладанием процессов вымывания, небольшим количеством гумуса, кислой реакцией, восстановительными процессами, вызывающими оглеение. Широко распространены тундровые глеевые и болотные почвы, хотя на севере зоны, в арктических тундрах оглеение часто не выражено, а почвенный покров полигонален.

Растительность несравненно богаче, чем в зоне полярных пустынь, и довольно разнообразна. Разнообразны и формы растительного покрова — от разорванного полигонального на севере в подзоне арктических тундр до кустарникового в подзоне южных тундр. Широко распространен болотный тип растительности.

Достаточно богат и животный мир. Особенно многочисленны птицы (около 180 видов) и беспозвоночные, как морские, так и сухопутные. Из млекопитающих в море встречается более 20 видов, на суше — также более 20 видов, так как с юга в тундру заходят представители лесной фауны. Характерны большие скопления отдельных видов как птиц (колонии), так и млекопитающих.

Типичными ландшафтами на море являются водно-ледяные с широким развитием припайных льдов и тундровые — на суше.

Тундровая зона подразделяется на три подзоны: арктической (полигональной) тундры, типичной (преимущественно мохово-лишайниковой) тундры и южной (кустарниковой) тундры.

Лесотундра представляет собой, как уже говорилось выше, переходную полосу от тундровой зоны к лесной. По мере продвижения с севера на юг лесные ландшафты получают все большее распространение и у южной границы лесотундры преобладают.

Растительность и животный мир в лесотундре несравненно богаче, чем в тундре, в основном за счет появления растений и животных лесной зоны. Однако лесные организмы находятся здесь на крайне северном пределе своего распространения и поэтому очень чувствительны к любым изменениям среды, в том числе и к антропогенным воздействиям.

Критерии устойчивости почвенно-грунтового комплекса Субарктики

П.Ф. Швецов

Практическая важность и научная актуальность сложной физико-геологической проблемы устойчивости или, наоборот, неустойчивости почвенно-грунтового комплекса (ПГК) очевидна. Этот самый верхний ярус земной коры — литогенная основа ландшафта (биогеоценоза), основание и среда многих сооружений. Основная особенность ПГК заключается в значительных изменениях важнейших для физической геологии параметров его состояния — температуры и влажности (концентрации H_2O). Изменения этих параметров ПГК отражают изменчивость гидрометеорологических условий на его поверхности. Изменчивость их редко бывает вполне периодической и случайной от года к году. Годовым или многолетним направленным изменениям температуры и влажности ПГК соответствуют изменения условий его механической устойчивости (неустойчивости). И это наблюдается при фиксированном составе и положении его в рельефе. Наиболее сложной оказалась проблема устойчивости ПГК Субарктики, где он состоит из сезонноталого слоя (СТС) или почвы и всегда мерзлого льдистого грунта.

Сложность задач определения условий и прогнозирования устойчивости такого ПГК обусловлена взаимосвязью тепловой и механической форм движения. Большие приращения теплоприходов повышают температуру, увеличивают толщину СТС, вследствие чего уменьшается механическая устойчивость всего ПГК. Наоборот, механическое воздействие на "внешний деятельный слой" (по А.И. Воейкову), сопровождающееся его разрушением или удалением, влечет изменение температуры и глубины протаяния ПГК. Поскольку механическая устойчивость ПГК определяется, как видим, его термической устойчивостью, перейдем к рассмотрению последней.

Специалисты по механике мерзлых грунтов и инженерной географии Севера полагают, что к основным критериям термической устойчивости ПГК Субарктики следует отнести постоянство или понижение его среднегодовой температуры и превышение глубины осенне-зимнего промерзания над глубиной весенне-летнего протаяния грунта. Вечномерзлый грунт устойчив, если "в течение длительного времени (соизмеримого со сроком эксплуатации основных сооружений) не будет происходить общего повышения температуры толщи вечномерзлых грунтов на застраиваемой территории, т.е. не будет иметь места деградация вечномерзлых грунтов" (Цытович, 1973). Исследователи физико-географических обстановок (геосистем) Крайнего Севера показателями устойчивости их считают низкую отрицательную температуру подпочвы и большой "запас холода" в ней. Чем ниже отрицательная температура толщи всегда мерзлых пород (ТВМП) и больше "запас холода" в ней, тем устойчивее ПГК (Ракита, 1980). Так ли это в действительности?

Чтобы обоснованно ответить на этот вопрос, следовало учесть и проана-

лизировать данные экспедиционных и стационарных исследований Института мерзлотоведения им. В.А. Обручева в Субарктике, начатых в 1950-х годах с участием и под руководством автора. Работа в этом направлении привела к вполне обоснованному выводу: самые низкотемпературные ПГК Субарктики с исключительно льдистыми ТВМП неустойчивы даже в естественном состоянии на пологих склонах и слегка наклонных трассах. Субарктические низменности, ПГК которых характеризуется средними годовыми температурами от -5 до -10° , а толщина суглинистого СТС не превышает 0,6 м [Швецов, 1964], — области наиболее интенсивного развития термокарста.

Это не вяжется, конечно, с бытовавшими и не оставленными до сих пор мерзлотно-климатологическими концепциями, правдоподобными, но односторонними и поэтому не точными. К числу таких концепций относятся: 1) представление, что температура ПГК зависит от температуры воздуха; 2) утверждение, что направленные значительные изменения средней годовой температуры, глубины промерзания и протаяния ПГК — следствия изменения климата, т.е. средней годовой температуры воздуха, суммы жидких и твердых осадков в течение большого ряда годовых периодов; 3) потепление климата, вызывающее повышение температуры почвы до точки таяния льда и протаяние стационарной ТВМП наиболее вероятно в средних широтах. Поэтому долгое время и искали следы интенсивного термокарста в средней полосе — на южной окраине области вечной мерзлоты.

На самом деле температуры ПГК на глубине промерзания и протаяния его значительно изменяются не только от года к году¹, от одного десятилетия — тридцатилетия к другому, но и в течение 10 и даже 5–6 годовых периодов, и вполне направленно: то увеличиваются в течение двух-трех годовых периодов, то уменьшаются за такой же срок. Такие изменения состояния ПГК вызваны двух-трехлетними повышениями и понижениями температуры почвы (деятельного слоя), соответствующими изменениям бюджета тепла в ней. Им часто, но далеко не во всех случаях, соответствуют изменения средней температуры воздуха.

Несоответствие направлений изменения температуры воздуха и почвы иллюстрируется данными таблицы¹, относящимися к одному из участков Северовосточной Субарктики.

Как видим, средняя годовая температура воздуха понижалась в течение трех годовых периодов, а глубина протаяния неуклонно увеличивалась за это время, что объясняется потеплением летних сезонов. Инсоляция (радиационный баланс) деятельного слоя в бесснежный сезон возрастала от одного года к другому. То же самое наблюдалось в Норильске.

Трех-четырёхлетние значительные потепления ПГК в Субарктике не редкие и не случайные явления. Они повторяются 3–4 раза за климатологический отрезок времени (20–30 лет). Редким и случайным пока представляется пятилетнее потепление воздуха и почвы (1969–1973 гг.) в Западной Сибири; средняя годовая температура воздуха повысилась за это время на $2,7^{\circ}$, подпочвы на глубине 5 м от 1 до $1,5^{\circ}$. В Апатитах

¹ Изменения температуры разного знака от одного года к другому в $2-3^{\circ}$ не называются уже на глубинах 2–2,5 м.

Таблица 1
Изменение температуры воздуха
и глубины протаяния почвенно-грунтового комплекса Субарктики
в течение четырех годовых периодов

Год	Средняя годовая температура воздуха, С	Сумма средних месячных температур воздуха за теплый сезон (VI—IX)	Средняя глубина протаяния в конце летнего сезона, м
1950	-5,9	27,1	0,53
1951	-7,0	28,1	0,63
1952	-7,5	28,9	0,78
1953	-7,6	35,3	0,98

Таблица 2
Тепловые обороты почвенно-грунтового комплекса
по мере уменьшения радиационного баланса деятельного слоя
открытых участков при отсутствии и наличии ТВМП, ккал/м²

Участок	Радиационный баланс	Теплооборот		Разница
		положительный	отрицательный	
Загорский, Московская область	336000	21310	-22760	-1450
Якутский	293000	23460	-22620	840
Игарский	248000	27230	-21260	5970

сильное трехлетнее потепление наблюдалось в 1936—1938 гг., когда средняя годовая температура воздуха поднялась на 2,6° над средней многолетней. Наибольшие трехлетние потепления происходили только в высоких, а не средних широтах. С ними и связаны значительные увеличения толщины СТС, разрывы и движения его на склонах, обнажения ТВМП, быстро протаивающие под действием солнечного тепла.

Рост приращений толщины СТС с юга на север по мере понижения среднегодовой температуры почвы кажется столь же парадоксальным, как увеличение теплооборотов ее в том же направлении (см. табл. 2).

Как видим, можно говорить об обратной зональности теплооборотов ПГК, увеличивающихся с юга на север. Но это увеличение теплоприходов неэффективно с геоботанической точки зрения, так как оно с лишней перекрывается малопродуктивным изотермическим процессом таяния и перестройки структуры мерзлого грунта.

Но даже при одинаковых потеплениях в средних и высоких широтах (тайге и тундре) приращение толщины СТС, влекущее к уменьшению его устойчивости, окажется большим только в Субарктике. Элементарное аналитическое доказательство этого положения опубликовано раньше (Швецов, 1964).

То, что значительное (на 0,4—0,5 м) увеличение толщины СТС уменьшает его устойчивость, вытекает из следующего условия его равно-

весия на склонах:

$$\tau = \gamma h_c - \operatorname{tg} \beta < G,$$

где τ — сдвигающая (касательная) сила, Н; h_c — средняя за много лет толщина СТС, м; γ — объемный вес СТС, кг/см³; β — угол наклона подошвы СТС; G — силы сцепления и трения, Н.

Наши наблюдения на Яно-Индибирской и Анадырской низменностях дали основание утверждать, что устойчивость ПГК в конце трехлетнего полупериода потепления нарушается на склонах больше 5–8°.

Литература

- Ракита С.А.* Устойчивость геосистем: подходы к практически реализуемой оценке. География и природные ресурсы, 1980 г, № 1, с. 136–141.
- Цытович Н.А.* Механика мерзлых грунтов. М.: Высш. шк., 1973. 446 с.
- Швецов П.Ф.* Роль двух-трехлетних повышений температуры почвы в развитии современного термокарста и криогенных склоновых процессов на Крайнем Севере. — В кн.: Современные вопросы региональной и инженерной геоэкологии. М.: Наука, 1964, с. 39–46.
- Швецов П.Ф., Бобов Н.Г.* Изменение геоэкологических обстановок на осваиваемых территориях Севера. — В кн.: Проблемы рационального природопользования и контроля качества природной среды Севера Сибири. Якутск: Якут. кн. изд-во, 1979 с. 112–120.

УДК 551.345

Вечная мерзлота как важный элемент полярной экосистемы

П.И. Мельников, Н.А. Граве

В разных физико-географических и историко-геологических условиях определяющую роль в развитии геоэкологических систем играют различные природные факторы. В полярных и высокоширотных, а также в высокогорных районах материков одним из ведущих факторов природной среды, оказывающих большое влияние на экологию и ландшафты, является вечная мерзлота, представляющая собой глобальное явление, связанное с определенными природными условиями.

Многолетнемерзлые породы обычно содержат значительное количество льда, залегающего близко к поверхности, что обуславливает развитие геоморфологических процессов. Для зон с вечной мерзлотой характерны специфические ландшафты. Вследствие недостатка тепла, значительной увлажненности и большой роли льда в их структуре северные ландшафты неустойчивы к внешним воздействиям и легко ранимы при нарушении сложившегося равновесия природных сил.

Интенсивное освоение богатых недр Сибири вызвало бурный рост промышленного и гражданского строительства, что неизбежно повлекло за собой в большинстве случаев нарушения и изменения ландшафтов обычно в нежелательном для человека направлении (Мельников и др., 1977). В общем виде результаты воздействия человеческой деятельности на

природно-территориальные комплексы на примере севера Западной Сибири рассмотрены В.Б. Нефедовой (1976). Последствия этого воздействия многообразны: биологические, геоморфологические, гидрологические, геохимические, геокриологические и другие. Поэтому возникающая при освоении области вечной мерзлоты природоохранная проблема требует комплексного подхода для своего решения.

Наиболее полно комплексность природоохранной проблемы в целом показана И.П. Герасимовым (1975), выделившим три ступени-блока общей системы "...наблюдения, контроля и управления состоянием окружающей среды...": биозокологический, геозокологический и биосферный мониторинги. Геозокологический блок (он же геосистемный или природно-хозяйственный), включающий, по И.П. Герасимову, естественные ресурсы окружающей среды, используемые человеком, является исходной природной основой для развития первого (изменение среды обитания людей) и третьего (глобальные изменения биосферы) блоков.

В геозокологическом мониторинге для области вечной мерзлоты следует выделить геокриологические исследования, подчиненные задачам, стоящим перед мониторингом криолитозоны. Это пока нерешенная часть природоохранной проблемы полярных областей, требующая постановки специальных наблюдений. Следуя концепции И.П. Герасимова, мы должны развернуть работы по контролю за состоянием криолитозоны, как одной из геосистем, входящих в природную среду Севера. Эти наблюдения позволят выявить тенденции развития криолитозоны в связи с изменениями других природных факторов, что очень важно для геокриологического прогноза и уточнения истории развития мерзлых толщ в прошлом.

В науке имеется только один пример многолетнего слежения за изменением температуры мерзлых горных пород до глубины 116 м. Это геотермические измерения в шахте Шергина в Якутске, проведенные академиком А.Ф. Миддендорфом в период 1844—1846 гг. и повторные измерения там же в 1934—1937 гг. Якутским управлением гидрометеослужбы и Якутской мерзлотной станцией Института мерзлотоведения АН СССР. Попытка объяснить изменения температуры пород в этой шахте влиянием длиннопериодных (300-летних) колебаний климата оказалась неудачной, ввиду несовершенной методики измерений (Мельников, 1962).

Инженерное освоение территории требует постановки наблюдений и за техногенным преобразованием криолитозоны. Главной практической целью таких исследований является решение проблемы устойчивости поверхности территорий к техногенным воздействиям. Под устойчивостью поверхности понимается способность ее противостоять появлению или активизации криогенных процессов (пучение, морозобойное растрескивание грунта, тепловые просадки грунта, термокарст, солифлюкция, образование оврагов, разрушение берегов водоемов и т.д.) при техногенных воздействиях (Граве, 1980). При этом поверхность территории — это не только сама поверхность, как таковая, но и верхний грунтовый слой с растительным, водным и снежным покровами, участвующий в процессе теплообмена грунтов с атмосферой, в первую очередь нарушаемый техногенными воздействиями при освоении местности (Крючков, Швецов, 1973).

Под техногенным воздействием на поверхность территории следует понимать "... прямое или косвенное влияние технических средств и продук-

Таблица 1
Виды механических воздействий на поверхность области вечной мерзлоты
и их последствия

Вид воздействия (в возрастающей степени)	Характер нарушения
Проезд тяжелого транспорта, легкие строительные работы	Уплотнение и разрыв растительного покрова, уплотнение снежного покрова
Интенсивное движение тяжелого транспорта (особенно летом), бурение и эксплуатация скважин, устройство просек, расчистка снега на стройплощадках и на дорогах, строительные работы, пожары, интенсивный выпас животных	Уничтожение растительного снежного покрова
Интенсивное строительство с планировкой местности, сельскохозяйственное освоение территории с вырубкой и раскорчевкой леса, распашкой земли	Уничтожение почвенного покрова и торфяников, оголение минерального грунта
Интенсивное строительство с ведением земляных работ и укладкой насыпей, дренажные и оросительные системы, горные работы открытым способом, дражные полигоны, водохранилища	Нарушение грунта, рельефа, режима обводнения
Подземная добыча полезных ископаемых (твердых, жидких, газообразных), устройство тоннелей и других подземных сооружений	Нарушение цельности массивов горных пород

тов жизнедеятельности человеческого общества" (Краснитский, 1975). Выделяются воздействия биотического и абиотического характера. Последние подразделяются на механические, химические, гидрологические, пирогенные, акустические и климатические. Наиболее существенными техногенными воздействиями в области вечной мерзлоты являются механические. К наиболее простым относятся воздействия, приводящие к нарушению снежного и растительного покрова, к более сложным — нарушению почв, грунта и рельефа. Известны нарушения поверхности, связанные с изменением химического состава грунта, — образованием криопэггов в населенных пунктах в результате насыщения слоя летнего протаивания и верхних слоев многолетнемерзлого грунта минерализованными водами, использованными в хозяйственных нуждах (Анисимова, 1979). В табл. 1 перечислены основные виды механических воздействий на поверхность в области вечной мерзлоты и их последствия, из которой видно, что рассматриваемая проблема связана с решением вопросов рационального землепользования при возведении и эксплуатации различных промышленных и гражданских сооружений, разведке и разработке месторождений полезных ископаемых, при сельскохозяйственных работах.

Будучи на первый взгляд узкой, эта проблема требует постановки комплексных исследований взаимодействия всех элементов, составляющих биогеоценозы, что, естественно, усложняет и расширяет проблему. К ее решению должны быть привлечены не только геокриологи, но и биологи, почвоведы, геоморфологи, гидрологи. Вместе с тем проблема в целом должна решаться геокриологами, так как устойчивость поверхности территорий на Севере более всего связана с особенностями мерзлых толщ. Проблема должна решаться прежде всего в энергетическом, точнее — в

Таблица 2
Тепловые потоки в грунт на площадках в естественных
и нарушенных тундровых условиях, кал/см² (1975–1976 гг.),
по (Павлов и др., 1979))

Характер поверхности	Месяц			
	VI	VII	VIII	IX
Мохово-лишайниковая кочкарная тундра в естественном состоянии	1111	859	426	152
То же, с удаленным напочвенным покровом	1453	1159	793	385
То же, с напочвенным покровом, нарушенным гусеничным транспортом	1750	1420	828	270

теплофизическом плане, так как оценка устойчивости поверхности в данном регионе тесно связана с процессами теплообмена ее с атмосферой. Как показали экспериментальные исследования в тундре Красноярского края (Павлов и др., 1979), тепловой поток в грунт увеличивается при снятии растительного покрова или нарушении его гусеничным транспортом более чем в 1,5 раза (табл. 2).

В связи с этим увеличивается и глубина летнего протаивания грунта, что ведет к оттаиванию подземных льдов и появлению или усилению процессов термокарста, термоэрозии и солифлюкции.

В настоящее время имеется несколько подходов к оценке устойчивости территорий в области вечной мерзлоты. Так, качественные оценки разработаны канадскими геологами и отражены на карте чувствительности поверхности Севера Канады в масштабе 1 : 1 000 000 (Terrain Sensitivity, 1975). Степень чувствительности или реакция поверхности на ее нарушения определяется по семибалльной шкале в зависимости от состава и льдистости грунта, уклона поверхности и характера растительного и органического покровов.

Наивысший балл чувствительности поверхности присваивается такому ее участку, где достаточно минимального воздействия для начала интенсивного разрушения поверхности вследствие термокарста и термоэрозии. Характерно, что чувствительность поверхности, показанная на карте, увеличивается от зоны тайги к зоне тундры и достигает наивысших баллов на арктическом побережье Канады. Подробное описание карты и исследований, связанных с ее составлением, дано Н.А. Граве (1978).

Для арктической части Аляски, в районе нефтяных месторождений после тщательных комплексных исследований были составлены ландшафтные, почвенные, геоморфологические, ботанические и др. карты. Эти карты послужили основой для разработки специальных карт в масштабе 1 : 25 000 на участок в 3,5 км², а именно карт чувствительности растений к проливам нефти и к прохождению транспортных средств. Основанием для качественной оценки разрушающего влияния нефти и транспорта на данный участок тундры послужили натурные эксперименты (Walker et

al., 1908). На Аляске в 1976 г. был испытан вездеход типа Роллигон с широкими шинами низкого давления. Как показали опыты, этот вездеход все же нарушает растительный покров. Степень нарушения зависит от времени года, типа растительности, влажности почвы и характера поверхности. Высоко чувствительными к проезду вездехода оказались участки тундры с сильно увлажненными мхами, которые под воздействием транспорта разрывались и выбрасывались из колеи, на дне которой обнажался грунт. Большая же часть опытного полигона тундры испытала нарушения средней и низкой степени, выразившиеся в уплотнении и опрокидывании чокек, образованных торфом и пушицей.

В нашей стране были проведены подобные исследования с гусеничным транспортом, обычно используемым в тундре. Исследования проводились на севере Якутии в 1976–1978 гг. в летнее время года в районе нижнего течения р. Индигирки близ пос. Чокурдах на полигонально-валиковом болоте и на бугорковых тундрах. Полное разрушение растительного покрова с образованием колеи наступало после шести проездов вездеходов по одному следу. Колея, оставленная вездеходами, заливается водой и служит местом развития термокарстовых процессов и образования оврагов, озер, болот (Андреев, Перфильева, 1979). Приведенные примеры показывают высокую степень ранимости покрова тундры, предохраняющего многолетнемерзлые породы от протаивания.

С.Ю. Пармузиным и С.Е. Суходольским (1980) введено понятие об энергетической устойчивости мерзлых толщ к техногенным воздействиям. Под последней подразумевается способность пород оставаться в мерзлом состоянии при изменении условий на поверхности. Для оценки устойчивости поверхности к техногенным воздействиям необходим также прогноз развития криогенных процессов. Такая оценка дана упомянутыми авторами для одного из районов п-ова Ямал. На карте инженерно-геокриологического районирования этого района авторы выделили территории с устойчивыми, упруго-устойчивыми и неустойчивыми участками поверхности. На неустойчивых участках при их освоении должны интенсивно развиваться термокарстовые, термоэрозийные, оползневые и др. процессы, деформирующие поверхность и необратимо изменяющие ландшафт.

Подобное исследование было проведено И.Л. Кузнецовой (1980) на Приморской низменности Якутии. Интересно, что в данном регионе, несмотря на очень большое содержание льда в многолетнемерзлых породах (более 50% по объему), устойчивость этих пород к техногенным воздействиям на севере региона в условиях арктической пустыни оказалась выше, чем в более южных районах, большей частью занятых лесотундрой и тайгой. Это объясняется прежде всего суровыми климатическими условиями северной части региона и низкой температурой мерзлых пород. Разрушение или удаление тонкого растительного слоя, образованного обычно лишайниками, мало сказывается на изменении температуры залегающих ниже мерзлых толщ. Температура их, правда, при этом повышается, но в основном в пределах отрицательных значений и подземные льды не оттаивают.

Составленные для Ямала и Приморской низменности прогнозные карты инженерно-геокриологического районирования показывают, что неустойчивые многолетнемерзлые породы распространены примерно на 25%

обследованной территории. Это обстоятельство дает возможность более оптимистично оценивать территории на арктическом побережье Сибири с точки зрения устойчивости поверхности к техногенным воздействиям. Большая часть (до 75%) этих территорий относится к упруго-устойчивым и устойчивым. Данный вывод обязывает нас шире развернуть инженерно-геокриологические прогнозные исследования, в результате которых появится реальная возможность выявить более благоприятные для освоения территории и изменить широко распространенное представление, согласно которому почти вся область вечной мерзлоты трудно доступна для освоения. Конкретное представление о степени устойчивости поверхности территории в северной зоне нашей страны позволит более экономно расходовать средства на природоохранные мероприятия при строительстве и эксплуатации сооружений, разработке полезных ископаемых и сельскохозяйственном освоении. В зависимости от степени устойчивости поверхности территории к техногенным воздействиям предлагаются различные мероприятия, направленные на предотвращение развития нежелательных процессов и восстановление нарушенных условий.

Исходя из большой динамичности криогенных процессов, разнообразия их результирующего влияния на поверхность территории при ее нарушениях и природной способности процессов к постепенному затуханию, предлагаются следующие подходы к освоению территорий в области вечной мерзлоты:

1. Предупреждение и ограничение деструктивных процессов.
2. Искусственная активизация прогнозируемых деструктивных процессов до освоения территории (Граве, Суходровский, 1978).

Первый подход наиболее пригоден для холодных арктических и субарктических районов. Он разработан и испытан на практике при строительстве и эксплуатации магистральных газопроводов на севере Сибири (Временное руководство..., 1979), на севере Аляски на месторождениях нефти и на трассе трансалюскинского нефтепровода (Граве, 1980; Браун, Граве, 1981; Павлов и др. 1979; Скрябин, 1979 и др.). Предлагаемые и применяющиеся природоохранные мероприятия направлены на регулирование стока и уменьшение глубины летнего протаивания грунта. К ним относятся: дренаж грунтов, отвод поверхностных вод, сохранение и восстановление почвенно-растительного покрова, ограничение земляных и взрывных работ и использования транспортных средств, нарушающих почвенно-растительный покров, посев трав, посадка деревьев и кустарников на поврежденных участках местности, искусственные покрытия из торфа, мха, дерна, древесины, синтетических материалов, отсыпка песка и грубообломочного материала, строительство на фундаментах, способствующих сохранению грунта под ними в мерзлом состоянии, и т.п.

Второй подход менее изучен. Он может быть иллюстрирован следующим примером. В Центральной части Аляски в области развития мощных подземных льдов при строительстве автодорог выемки были выполнены с вертикальными стенками и на значительном расстоянии от самого шоссе. Этим преследовались две цели: минимальное нарушение растительного покрова и ускорение стабилизации оттаивающих склонов выемки. Выпалаживание откосов в результате возникших оползней прекратило выпалаживание льдов (Smith, Berg, 1973).

Криогенные геоморфологические процессы подробно исследованы В.Л. Суходровским (1979). Согласно данным упомянутого автора, а также по материалам других источников (Временное руководство..., 1979; Now, 1974; Браун и Граве, 1981), естественно протекающие процессы оползания грунтов на склонах, термоэрозии, термоабразии, термокарста и пучения протекают очень медленно и изменения в рельефе происходят со скоростью от нескольких сантиметров до 8–10 м в год. При удалении или нарушении растительного покрова скорость процессов возрастает до 30 и даже до 150 м в год. Правда, после интенсивной стадии разрушения поверхности, длящейся 2–3 года, а иногда и до 10 лет, процессы временно затухают, стабилизируются. Они снова усиливаются при новом изменении поверхностных условий.

При рациональном освоении местности для надежности возводимых сооружений в районах многолетней мерзлоты необходимы тщательные геокриологические исследования, как опережающие строительство, так и во время строительства и эксплуатации сооружений с целью учета результатов их воздействия на поверхность территории и ландшафта. В нашей стране этим целям служит мерзлотная съемка и геокриологический прогноз, на основании которого рекомендуются те или иные природоохранные мероприятия. В общем виде эти мероприятия приведены в ряде работ (Браун и Граве, 1981; Brown, 1980; и др.), а ряд конкретных рекомендаций — во "Временном руководстве..." (1979) и в монографии В.Л. Суходровского (1979).

Будучи достаточно самостоятельным, мониторинг криолитозоны всегда должен рассматриваться как часть геозоологического мониторинга, который в свою очередь тесно связан с другими блоками мониторинга окружающей среды. Полная оценка реакции полярной экосистемы на техногенные воздействия, естественно, не ограничивается определением степени устойчивости поверхности территорий. Она должна основываться также и на наблюдениях за растительным и животным миром, водными ресурсами, приземным слоем атмосферы. Поэтому мониторинг криолитозоны должен входить в состав мониторинга окружающей среды и проводиться на специальных площадках и полигонах в типичных для криолитозоны регионах.

Эти полигоны должны быть созданы для начала, например, в Якутии и на севере Западной Сибири, освоение которых идет в нарастающем темпе. Все это представляет сложную задачу. Однако, применяя существующую методику, можно уже в ближайшее время приступить к организации слежения за криолитозоной путем систематических теплобалансовых и геотермических исследований многолетней и сезонной криолитозоны на выбранном полигоне в Центральной Якутии. Здесь можно следить как за естественными процессами, так и за вызванными техногенезом.

Только таким путем, наблюдая и экспериментируя, можно создать научные основы прогноза развития и управления криолитозоной в интересах технического прогресса.

- Андреев В.Н., Перфильева В.И. Влияние гусеничных транспортов на тундру. — В кн.: Охрана природы Якутии. Якутск: Кн. изд-во, 1979, с. 42—47.
- Анисимова Н.П. Криогенные изменения ландшафта при хозяйственном освоении мерзлой зоны. — В кн.: Охрана природы Якутии: Якутск: Якут. кн. изд-во, 1979, с. 139—141.
- Браун Д., Граве Н.А. Нарушение поверхности и ее защита при освоении Севера. Новосибирск: Наука, 1981.
- Временное руководство по защите ландшафтов при прокладке газопроводов на Крайнем Севере. Якутск: ИМ СО АН СССР, 1980, 48 с.
- Граве Н.А. Чувствительность поверхности к техногенному воздействию в области вечной мерзлоты, приемы и методы отражения их на картах. — В кн.: Методика инженерно-геологических исследований и картирования области вечной мерзлоты. Якутск: Кн. изд-во, 1978, с. 16—33.
- Граве Н.А. Место и направление геокриологических исследований в проблеме охраны среды и рационального природопользования в области вечной мерзлоты. — В кн.: Устойчивость поверхности к техногенным воздействиям в области вечной мерзлоты. Якутск: Кн. изд-во, 1980, с. 7—12.
- Граве Н.А. Вопросы охраны окружающей среды на Аляске и на севере Канады в связи с освоением области вечной мерзлоты. — В кн.: Устойчивость поверхности к техногенным воздействиям в области вечной мерзлоты. Якутск: Кн. изд-во, 1980б, с. 135—141.
- Граве Н.А., Суходоровский В.Л. Рельефообразующие процессы области вечной мерзлоты и принципы их предупреждения и ограничения на осваиваемых территориях. — В кн.: Тр. третьей междунар. конф. в Канаде по мерзлотоведению. Эдмонтон, 1978, т. 1, с. 468—471.
- Краснитский А.М. Значение окружающих территорий для заповедника. — Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1975, № 3, с. 81—85.
- Крючков В.В., Швецов П.Ф. Особенности ландшафтной оболочки Субарктики и воздействие на нее процессов индустриализации. — В кн.: Проблемы Севера. М.: Наука, 1973, вып. 18, с. 50—63.
- Мельников П.А. Об изменениях температуры горных пород за вековой период в шахте Шергина в г. Якутске и продолжительности тепловых процессов при восстановлении нарушенных температур мерзлых горных пород. — В кн.: Многолетнемерзлые породы и сопутствующие им явления на территории Якутской АССР. М.: Наука, 1962, с. 54—67.
- Мельников П.А., Павлов А.П., Граве Н.А. Исследования и мероприятия по охране окружающей среды в области распространения многолетнемерзлых пород. — Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1977, № 5, с. 90—91.
- Павлов А.П. О тепловом равновесии в верхнем слое земной коры. — В кн.: Техногенные ландшафты Севера и их рекультивация. Новосибирск: Наука, 1979, с. 5—11.
- Павлов А.П., Сергеев Б.П., Скрябин С.Н. Изменение теплообмена грунтов с атмосферой в зоне тундры при техногенных воздействиях. — В кн.: Техногенные ландшафты Севера и их рекультивация. Новосибирск: Наука, 1979, с. 12—22.
- Пармузин С.Ю., Суходольский С.Е. Опыт районирования территории с сильно-льдыстыми породами по устойчивости к техногенным воздействиям: (На примере среднего Ямала). — В кн.: Устойчивость поверхности к техногенным воздействиям в области вечной мерзлоты. Якутск: Кн. изд-во, 1980, с. 108—127.
- Скрябин С.З. Исследование по биологической рекультивации нарушенных тундр на Енисейском Крайнем Севере. — В кн.: Техногенные ландшафты Севера и их рекультивация. Новосибирск: Наука, 1979, с. 51—61.
- Суходоровский В.Л. Экзогенное рельефообразование в криолитозоне. М.: Наука, 1979, 280 с.
- Brown J., Hemming James E. Workshop on Environmental Protection of Permafrost terrain. — North. Eng., 1980, vol. 12, p. 30—36.
- How G.T.S. Effects on the terrain of construction and operation of the proposed Mackenzie Gas pipeline Project. — In: Environmental Impact Assessment. Research reports, Canada, 1974, vol. 4, chap. I.

- Smith N., Berg R. Encountering massive ground ice during road construction in Central Alaska. — In: Permafrost: Second Intern. Conf. Nat. Acad. Sci. Wash. (D.C.), 1973, p. 730–736.
- Walker D.A., Everett K.R., Webber P.S., Brown J. Geobotanical Atlas of the Prudhoe Bay Region. Alaska. U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory. Hanover N.H. CRREL, Report (in press). 1980, p. 69.

УДК 551.324 (98/99)

Ледники в экосистемах полярных областей: два сценария предстоящих изменений

М.Г. Гросвальд, В.М. Котляков

Введение. Ледники, в особенности их крупные системы — ледниковые покровы представляют собой один из главных компонентов экосистем полярных областей, и их изменения не только отражают эволюцию экосистем, но и должны рассматриваться среди основных причин этой эволюции. Исследования последних лет показали, что движущей силой развития природной среды являются взаимодействия атмосферы, океана и природных льдов, и что такие важные экологические характеристики этой среды, как климатические параметры и их изменения, есть не что иное, как результат этих взаимодействий.

В глобальной динамической системе атмосфера—океан—оледенение элементы криосферы — ледники, снежный покров, морские льды и в меньшей степени подземные льды — играют особую роль, так как они чрезвычайно изменчивы. Площади и масса природных льдов подвержены изменениям различной периодичности — от сезонных и межгодовых до многолетних, повторяющихся через интервалы в сотни, тысячи и десятки тысяч лет. Только в связи с сезонными изменениями снежного покрова и морских льдов суммарные площади льда земной поверхности колеблются от 78 млн. км² в январе—феврале до 44,7 млн. км² в августе (Radok, 1978). Соответственно изменяется альbedo Земли и ряд других климатообразующих факторов. Разрастания и сокращения ледниковых покровов, многократно повторявшиеся на протяжении позднего кайнозоя, приводили к существенному перераспределению масс между океаном и сушей, то расширяя последнюю, увеличивая ее высоту и резко сокращая свободную поверхность океана, то, наоборот, расширяя океан за счет площадей, которые на предшествующем ледниковом этапе были сушей. При этом принципиально менялись атмосферная и океанская циркуляции, условия теплообмена между сушей, океаном и атмосферой.

Весьма важно, что между изменениями отдельных видов и всего комплекса природных льдов, с одной стороны, и климатом — с другой в определенных случаях возникают положительные обратные связи, которые способны усиливать начальные возмущения глобальной динамической системы и приводить к существенному "расшатыванию" ее равновесия. Причем роль такого усилителя, по-видимому, принадлежит не какому-то одному виду природных льдов, как нередко считают, а оледенению в целом. Хотя на разных этапах изменений системы относительная роль отдель-

ных видов природных льдов должна меняться: при зарождении материковых оледенений доминирующее значение приобретает изменчивость снежного покрова и морских льдов, а при переходе от ледникового максимума к межледниковью — неустойчивость наиболее крупных ледниковых комплексов.

Известно, что изучение экосистем и их компонентов должно отвечать ряду требований, суть которых определяется его общей экологической направленностью. Среди важнейших из них следует назвать обоснование рациональных норм природопользования и создание научных основ географического прогноза (Сороба, 1978). Первые опыты исследований будущего природной среды (в частности, структуры возможного планетарного экологического кризиса) приводят к выводу, что одной из сторон этого кризиса может быть нарушение квазистационарного состояния природных льдов (Котляков, 1980). Ниже будет показано, что экологические эффекты такого нарушения будут отрицательными и в случае, если за ним последует разрастание оледенения, и в случае, если оледенение резко сократится. Последнее требует специального объяснения, поскольку до сих пор бытует мнение, что оледенение — это болезнь планеты и от него желательно избавиться, чтобы вернуть "райский климат миоценовой эпохи".

Ледники и их изменения. Ледники — это массы льда преимущественно атмосферного происхождения, принявшие в силу пластично-вязкого течения форму потоков, систем потоков, выпуклых щитов или плавучих плит. В настоящее время на ледники приходится почти 99% общей массы природных льдов, тогда как в морских льдах и айсбергах сосредоточено лишь 0,17%, в снежном покрове 0,04%, а в многолетнемерзлых породах — 0,83% этой массы (Шумский, Кренке, 1965). Поэтому именно с ледниками связан основной потенциал термических, геоморфологических, изостатических, эвстатических и некоторых других эффектов оледенений.

В обеих полярных областях Земли ледники представляют существенную компоненту экосистем, важный элемент подстилающей поверхности причем важный не только с точки зрения условий климатообразования, но и с многих других.

В Арктике современные ледники занимают 204 0000 км², что составляет в зависимости от принятия той или иной точки зрения на положение границ Арктической области от 20 до 30% площади ее суши. Объем этих ледников в пересчете на воду достигает 2,5 млн. км³, что равно речному стоку в Северный Ледовитый океан за 480 лет (Котляков, Кренке, 1980). Распределение ледников в Арктике резко неравномерное, с максимальными площадями и объемами льда, тяготеющими к приатлантическому сектору. Больше всего льда сосредоточено в Гренландии и восточной части Канадской Арктики (площади 1,8 млн. км² и 150 тыс. км², объемы 2,7 млн. км³ и 50 тыс. км³ соответственно). Оледенение Евразийской Арктики (площадь ледников 92 тыс. км², объем 25 тыс. км³) также резко "придвинуто" к Атлантике; из указанной площади 35 тыс. км² приурочено к Шпицбергену, 24 тыс. км² — к Новой Земле и почти 14 тыс. км² — к Земле Франца-Иосифа. Таким образом, 73 тыс. км² ледников арктической Евразии находятся в ее западной половине.

Наиболее точные данные имеются для Советской Арктики, целиком охваченной "Каталогом ледников СССР", издание которого только что

закончено Гидрометеозидатом. Согласно этому каталогу, ледники арктической зоны СССР имеют площадь $56\,970\text{ км}^2$ и объем $16\,500\text{ км}^3$. В целом в приатлантическом секторе Арктики, который особенно интересен с точки зрения изменений климата, ледники сейчас занимают свыше 50% площади суши.

В Антарктике, суша которой имеет площадь около 14 млн. км^2 , на ледниковые покровы приходится более 13,9 млн. км^2 , а их объем вместе с плавучими частями близок к 25 млн. км^3 .

Судя по данным гляциологических исследований, ледниковые покровы оказывают сильное воздействие на другие элементы экосистем. С ледниковыми щитами связаны существенные изменения рельефа и очертаний материков, а также наиболее быстрые вертикальные движения земной коры, обусловившие многократное чередование позднекайнозойских трансгрессий и регрессий морей на северные приморские низменности. Размах гляциоэвстатических колебаний объема Мирового океана за последние 20 тыс. лет был эквивалентен слою воды толщиной в 160–170 м.

Появление ледяного покрова на суше резко меняет ее инженерно-геологические характеристики. К тому же в летние сезоны оно увеличивает альбедо, обуславливает переход от испарения к конденсации, охлаждает воздух в связи с расходом тепла на таяние, многократно удлиняет цикл влагооборота. В Арктике в соответствии с размерами ледников и интенсивностью их питания средняя продолжительность этого цикла варьирует от 320 лет на Земле Франца-Иосифа до 4 тыс. лет в Гренландии (Котляков, Кренке, 1980).

В полярных областях, для которых характерно сближение границы питания ледников с уровнем океана, могут существовать покровные ледники западноантарктического, или морского, типа. Такие ледники частью налегают на шельфы, частью плавают в сопредельных глубоких бассейнах и в силу этого гораздо сильнее, чем наземные ледники гренландского типа, взаимодействуют с океаном. Одно из их главных свойств — структурная неустойчивость, чреватая катастрофами-сёрджами, т.е. внезапными ускорениями движения, сопровождающимися дроблением льда, изменением формы ледников и нарушением их стационарности. Подчеркнем, что под катастрофами здесь понимаются скачкообразные перестройки состояния или формы систем, которые являются результатом не резких, а постепенных изменений внешних факторов, контролирующих эти системы.

Ледники испытывают изменения, идущие в общем параллельно изменениям климата, но связанные с ними не всегда линейно. Самые крупные изменения ледников — их колоссальные разрастания и резкие сокращения — происходят при переходах от межледниковых эпох к ледниковым и от оледенений к межледниковьям. Судя по геологическим данным, основные площади позднекайнозойских оледенений располагались в Арктике и Антарктике (а не в умеренных широтах, как нередко пишут даже специалисты). Согласно реконструкциям, которые авторам представляются наиболее обоснованными, главной формой плейстоценовых оледенений были два обширных ледниковых комплекса — Панарктический и Антарктический, каждый из которых представлял собой единую динамическую систему ледниковых щитов, ледяных потоков и плавучих ледников-шель-

фов. В свой максимум, датированный интервалом 21–17 тыс. лет назад, эти ледниковые покровы имели площади без плавучих частей, соответственно 25 и 16 млн. км² и объемы около 50 и 38 млн. км³, причем оба они были существенно морскими: их обширные и наиболее активные части располагались в зоне континентальных шельфов. Это значит, что позднекайнозойские разрастания оледенения сопровождались резким усилением его неустойчивости (Гросвальд, 1980; Hughes et. al., 1977).

По представлениям ряда современных исследователей, зарождение покровных оледенений начиналось с разрастания площадей снежного покрова и морских льдов высокоширотных районов, которое в определенных синоптических условиях устанавливало положительную обратную связь с атмосферными осадками, т.е. усиливало снегопады. А в разрушении древнеледниковых покровов ведущая роль принадлежала сёрдчам, в ходе которых большие массы льда, находившегося в неустойчивом состоянии на шельфах, порция за порцией, каждая с объемом порядка миллиона кубических километров, сбрасывались в океан. Это должно было нарушать плавный ход позднеледникового эвстатического повышения океанского уровня, вызывая "потопы" на низменных побережьях. Указанные сёрджи несомненно имели и климатические следствия, связанные с действием двух механизмов: увеличением альбедо поверхности океана и расхождением тепла на таяние льда. Количество тепла, поглощаемое при таянии миллиона кубических километров льда, составляет 8–10¹⁹ ккал, что в 50–100 раз больше среднего теплосодержания воды, ежегодно поступающей в Арктический бассейн с Североатлантическим течением. Поэтому вполне вероятно, что одним из результатов позднеледниковых сёрджей были короткие, но сильные похолодания, известные благодаря "стадиальным" подвижкам ледников и смещениям границ природных зон. Еще одним следствием сёрджей были опреснения и "облегчения" изотопного состава морской воды на больших по площади акваториях.

Все это позволяет составить представление, хотя бы качественное, о тех общеприродных и экологических следствиях, которые должен иметь распад единственного морского ледникового покрова современной эпохи — Западноантарктического ледникового щита.

Ледники и экологический прогноз. Геологические следы колебаний ледников прошлого традиционно используются для реконструкций палеоклиматических изменений. В последние годы появились методы восстановления палеотемператур воздуха и баланса массы льда за тысячелетия, основанные на изотопно-кислородном анализе ледяного керна из скважин, пробуренных в больших ледниковых покровах (Dansgaard et. al., 1973). Их применение позволило существенно продлить ряды инструментальных метеонаблюдений и выявить тенденции естественных изменений климата. В частности, изучение гренландского керна показало, что в фирново-ледяной толще, накопившейся за последние 800 лет, отчетливо выявляются 10 циклов изменений соотношения стабильных изотопов кислорода O¹⁸/O¹⁶, которые соответствуют флуктуациям температур с размахом в 1,7° (на 75–80° с.ш.). Экстраполяция гренландской палеотемпературной кривой вперед позволяет предсказать, что климатическое похолодание, характерное для современного этапа, закончится в ближай-

шие 10 лет и за ним последует 40-летний полуцикл климатического потепления. Весьма вероятно, что на этот — естественный — тренд в ближайшие десятилетия наложится еще и сильное антропогенное потепление, которое связывается с парниковым эффектом CO_2 , накапливающегося в атмосфере в результате сжигания минерального топлива. По целому ряду прогнозов, в силу этих причин средняя температура приземного слоя атмосферы к двадцатым годам XXI столетия повысится на $1,5-4^\circ$, по большинству, оценок, на 2° .

В связи с этим первый сценарий, который мы рассмотрели при попытке прогноза изменений полярных ледников на ближайшие четыре—пять десятилетий, сводился к анализу их вероятной реакции на сильное потепление (Гросвальд, Котляков, 1978). Наши расчеты, опирающиеся на прогнозные карты климата 2020-х годов (Будыко, 1980), привели к заключению, что баланс массы ледниковых комплексов Советской Арктики к этому времени станет резко отрицательным, снизившись на Новой Земле и Земле Франца-Иосифа до уровней — 400 и $600 \text{ г} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{год}^{-1}$. При таком дефиците ледниковые покровы названных районов должны полностью исчезнуть за несколько десятилетий. По тем же расчетам, площадь области абляции Гренландского ледникового щита при ожидаемом потеплении удвоится, а его поверхность будет снижаться со скоростью $0,5-0,7 \text{ м} \cdot \text{год}^{-1}$. Что касается ледникового покрова Восточной Антарктиды, то он изменится мало, хотя обрамляющие его плавающие ледники-шельфы (шельфовые ледники) либо исчезнут, либо окажутся в стадии быстрой деградации.

Принципиально иной будет судьба Западноантарктического ледникового щита, который, будучи единственным крупным современным морским ледником Земли, может выйти из состояния устойчивого равновесия и начать катастрофически распадаться (Hughes, 1973). Подчеркнем, что усиление таяния периферических частей ледникового щита и ускорение эвстатического подъема уровня океана будут здесь лишь триггером комплекса разрушительных процессов, в который входят распад ледников-шельфов, нарушение динамического равновесия между налегающими и плавающими частями морского ледника, скачкообразное отступление линии налегания, сёрджи ледяных потоков, в ходе которых материковый лед сбрасывается в океан (Гросвальд, Котляков, 1978; Thomas et. al., 1979; Hughes et. al., 1977). Одним из следствий распада этого щита было бы внезапное повышение уровня океана на $5,5 \text{ м}$, создающее серьезную угрозу для низменных побережий материков и морских портов мира. Уже из-за этого ясно, что резкое потепление может вызвать такие изменения оледенения, которые с экологической точки зрения будут крайне вредными. Современный уровень надежности многолетних климатических прогнозов заставляет допускать и вторую возможность — что климатическое похолодание, характерное для современной эпохи, будет продолжаться. Поэтому мы должны рассмотреть и второй сценарий, а именно вероятную реакцию полярных ледников на снижение температур, длящееся несколько десятилетий. При этом следует иметь в виду, что такие ледники гораздо сильнее реагируют на общеклиматические изменения, чем ледники умеренных и низких широт. Достаточно сказать, что одно и то же событие — похолодание "малой ледниковой эпохи", имев-

шее место в XV–XIX веках, — существенно по-разному сказалось на оледенении Кавказа и Шпицбергена: если в первом районе сохранилась общая тенденция к убыванию, то во втором, причем даже вблизи уровня моря, многие ледники могли возникнуть заново.

Причины особенно сильной реакции высокоширотных ледников на изменения климата мы видим в нескольких обстоятельствах. Во-первых, в эффектах полярного усиления, в силу которого фактическое похолодание высоких широт в 4–5 раз превосходит среднеглобальное. Во-вторых, в факте, что снижение климатической снеговой границы в Арктике и Антарктике вызывает рост не только ледников, но также площадей снежного покрова и морских льдов, которые способны, действуя через механизм повышения альбедо, усиливать начальное похолодание (Захаров, 1976; Lockwood, 1980). В-третьих, в том, что, как уже говорилось выше, между общим усилением ледовитости и снежности полярных областей, с одной стороны, и количеством твердых атмосферных осадков — с другой, часто устанавливается положительная обратная связь: над заснеженными равнинами возникают холодные барические ложбины, по которым происходят вторжения циклонов (Williams, 1978). В-четвертых, в близком соседстве очагов полярного оледенения с океанскими акваториями, которые могут долго оставаться относительно теплыми, обеспечивая обильное питание растущих ледников (Ruddiman et al., 1980). В-пятых, в сокращении, вплоть до полного прекращения, адвекции теплых атлантических вод в Арктику при понижении температур воздуха, чем создаются условия для увеличения толщины и площади морских льдов (Бараш, 1980; Захаров, 1976; Johnson, Andrews, 1979).

По этим причинам в высоких широтах даже относительно короткие похолодания, имеющие продолжительность в немногие десятилетия, могут пробуждать к жизни трудно обратимые процессы совместного разрастания ледников, морских льдов и снежного покрова. Особенно быстро при этом проявляют себя неблагоприятные последствия для условий жизни людей, полярной навигации и освоения минеральных ресурсов полярной суши и шельфа.

В целом при прогнозе изменений оледенения Арктики и Антарктики необходимо учитывать, что оно значительно менее устойчиво, чем оледенение умеренных широт, и способно на гораздо более быстрые изменения, чем это представлялось еще несколько лет назад.

Литература

- Будыко М.И. Климат в прошлом и будущем. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 352 с.
- Бараш М.С. Четвертичные палеотемпературы океанов и некоторые палеогеографические реконструкции. — В кн.: Современные проблемы геологии морей и океанов. М.: Наука, 1980, с. 102–128.
- Захаров В.Ф. Похолодание Арктики и ледяной покров арктических морей. Л.: Гидрометеиздат, 1976. 96 с.
- Гросвальд М.Г. Покровные ледники континентальных шельфов: Автореф. дис. ... д-ра геогр. наук. М.: Ин-т географии, 1980. 38 с.
- Гросвальд М.Г., Котляков В.М. Предстоящие изменения климата и судьба ледников. — Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1978, № 6, с. 21–32.
- Котляков В.М. Будущее природной среды и глобальные проблемы гляциологии. — Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1980, № 1, с. 5–16.

- Котляков В.М., Кренке А.Н. Роль наземного оледенения в водноледовом балансе Арктики. — Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1980, № 4, с. 11–21.
- Сочава В.Б. Введение в учение о геосистемах. Новосибирск: Наука, 1978. 319 с.
- Шумский П.А., Кренке А.Н. Современное оледенение Земли и его изменения. — Геофиз. бюл., 1965, № 14, с. 128–158.
- Hughes T. Is the West Antarctic ice sheet disintegrating? — J. Geophys. Res., 1973, vol. 78, N 33, p. 7884–7910.
- Hughes T., Denton G.H., Grosswald M.G. Was there a late — Würm Arctic ice sheet? — Nature, 1977, vol. 266, N 5603, p. 596–602.
- Johnson R.G., Andrews J.T. Rapid ice-sheet growth and initiation of the last glaciation. — Quatern. Res., 1979, vol. 12, N 1, p. 119–134.
- Lockwood J.G. Milankovitch theory and ice ages. — Progr. Phys. Geogr., 1980, vol. 4, N 1, p. 79–87.
- Radok U. Climatic roles of ice: Technical documents in Hydrology. P.: UNESCO, 1978, p. 14.
- Dansgaard W., Johnsen S.L., Clausen H.B. Gundestrup N. Stable isotope glaciology. København: Reitzels Verlag, 1973.
- Ruddiman W.F., McIntyre A., Niebler-Hunt V., Durazzi J.T. Oceanic evidence for the mechanism of rapid Northern Hemisphere glaciation. — Quatr. Res., 1980, vol. 13, N 1, p. 33–64.
- Thomas R.H., Sanderson T.J.O., Rose K.E. The effect of climatic warming on the West Antarctic ice sheet. — Nature, 1979, vol. 277, N 5695, p. 355–358.
- Williams L.D. Ice-sheet initiation and climatic influences of expanded snow cover in Arctic Canada. — Quatern. Res., 1978, vol. 10, N 2, p. 141–149.

УДК 581.524.441

Растительный покров полярной безлесной области: проблемы изучения и охраны

Б.А. Юрцев

I

Фундаментальная роль растительного покрова (совокупности автотрофных организмов той или иной территории) в любых крупных экосистемах, в том числе арктических и субарктических (гипоарктических) общеизвестна. Автотрофы выполняют функции мобилизации солнечной энергии, ввода ее в экосистему в доступной для дальнейших преобразований форме химических связей, а также функцию первичного синтеза органического вещества из неорганических соединений; с зеленых растений начинаются все цепи питания, они распределяют потоки энергии через экосистему.

Кроме того, именно наземные растения как прикрепленные к субстрату организмы вместе с гетеротрофами почвы и самой почвой образуют постоянное ядро — территориальный каркас любой наземной экосистемы. Растительный покров к тому же определяет физиономию экосистемы, ее внешний облик, улавливаемый как при наземных, так и при аэро- и космических наблюдениях. Поэтому именно картирование и районирование растительного покрова представляет эффективный подход к выявлению пространственной иерархии экосистем от элементарных единиц — биогеоценозов до биосферы и ее крупнейших подразделений — биомов, экосистем природных зон и областей. Экосистема в отличие от геосисте-

мы — биоцентрическое понятие, она устанавливается по отношению к тому или иному комплексу организмов — естественному сообществу. Если это единицы ранга биогеоценоза (элементарной ячейки биосферы), ядро их и автотрофный блок образует фитоценоз; если же это значительно более крупные экологические единицы, автотрофными ядрами их являются естественные флоры как системы местных географических популяций всех видов растений, населяющих данную территорию (Юрцев, Семкин, 1980). Такая трактовка флоры не традиционна, но, как кажется, именно она наиболее перспективна при биосферных исследованиях.

Поскольку большинство видов живых организмов способно активно заполнять свои потенциальные экологические ареалы (с поправкой на конкурентные отношения), полное сочетание видов растений очень тонко отображает экологическую обстановку на данной территории; к тому же растительный покров активно воздействует на нижние слои атмосферы и верхний слой литосферы и, кроме того, является важным регулятором взаимодействий эндогенных и экзогенных факторов рельефообразования, интенсивность которых одного порядка. Исключительно важную роль играет он в системе многолетняя ("вечная") мерзлота—почвенно-растительный покров—климат.

Следует согласиться с предложением Е.С. Короткевича считать Арктику синонимом холодного полярного безлесного пояса. Широко распространенное в советской географической и зоологической литературе более узкое понимание Арктики как синонима зоны полярных пустынь, (вслед за А.А. Григорьевым, 1946), расходится с трактовкой этих терминов в зарубежной литературе по Северу (Арктика — холодная безлесная полярная область, Субарктика — лесотундра, нередко вместе с полосой редколесий и северной тайги, реже — вся таежная зона). С экологических позиций именно выпадение деревьев, господствующих (по крайней мере, в гумидных и умеренно увлажненных секторах) во всех термических поясах — от экваториального до холодно-умеренного (таежного), означает самую крупную перестройку экосистем (сокращение на порядок вертикальной мощности фитосферы, нередко и горизонтальных размеров сообществ и т.д.).

Главная особенность Крайнего Севера, включающего не только холодную полярную безлесную область, но и полосу лесотундры, редколесий и редкостойной северной тайги, — лимитированность летнего тепла. С юга на север эта особенность усиливается от субэкстремальных значений до экстремальных, лежащих за пределами толерантности многих крупных систематических групп растений вплоть до семейств, классов и даже типов (выпадение типа голосеменных в Арктике, папоротникообразных — в высокой Арктике). С юга на север в полярной безлесной области выпадают представители крупномерных жизненных форм растений в такой последовательности: деревья — крупные, затем низкие кустарники и стланики — собственно кустарнички и гемипростратные (растущие косо вверх, с последующим полеганием) стланики — простратные (шпалерные) кустарнички и стланички, стелющиеся по поверхности субстрата (сначала вечнозеленых, затем и летнезеленых). Вместе с ними из покрова выпадают и длиннокорневищные травы (в числе последних многие виды — характерные доминанты гипоарктических и арктических тундр). Наиболее толерант-

ные к минимуму тепла виды многолетних трав (из разных групп жизненных форм) в полосе арктических пузырьков (высокоарктических тундр) принимают подушковидный облик, теряя конкурентные преимущества в скорости роста перед мхами и лишайниками. Соответственно роль в образовании растительности споровых растений (мхов, корковых лишайников, водорослей) возрастает в высокой Арктике до полного их доминирования. Одновременно резко возрастает относительная площадь абиогенных ландшафтов, доля не покрытых растениями макро-, мезо-, и микро- и наночастков поверхности суши. При этом происходит дезинтеграция растительного покрова, на первое место среди экологических факторов выдвигаются абиотические.

Уровень видового разнообразия цветковых растений в холодной полярной области, измеряемый числом видов в локальной флоре (флоре окрестностей данного географического пункта площадью порядка 10×10 км), сокращается со 100—300 видов у южных пределов области до немногих десятков у северного предела. Видовое разнообразие мхов и особенно лишайников на юге области ниже, чем цветковых, в высокой Арктике — существенно выше вследствие более высокой толерантности низкоорганизованных форм растений к экстремальной холодности климата.

Невозможно предположить единую модель экосистемы ранга биогеоценоза для территории Крайнего Севера в целом. Заведомо придется построить зональный ряд таких моделей, крайние члены которого — многоярусные экосистемы северных редколесий высотой до 10 м и более и недифференцированные на ярусы группировки водорослей и корковых лишайников (более или менее сомкнутые или фрагментарные) в крайних вариантах полярных пустынь. Педосфера здесь не развита (из-за отсутствия корнеобразующих цветковых), а мощность "пленки жизни" измеряется миллиметрами. Между этими крайними вариантами есть все связующие звенья: кустарниковые (южные гипоарктические) многоярусные тундровые сообщества высотой до 1—2 м (реже 3—4); малоярусные кустарничковые моховые или лишайниковые тундры с высотой кустарничкового яруса от 5—10 до 30—40 см. Такие сообщества можно встретить во всех подзонах гипоарктических (субарктических) тундр и в южной части подзоны арктических тундр (кассиопейно-моховые тундры). Слабодифференцированные на ярусы сообщества простратных кустарничков и стланичков, вегетативные части которых расположены почти в одном ярусе с мхами и лишайниками, хотя цветоносы, как и надземные части многих трав, имеют высоту от нескольких до 10 см (редко — больше). При этом сомкнутый покров здесь часто прячется в ложбинки микрополигональной сети, в ячейках которой — полуоткрытые, разрешенные группировки трав на пятнах голого грунта, иногда затянутых пленкой корковых лишайников и водорослей. Такие фитоценозы становятся фоновыми в северной части подзоны арктических тундр, где из кустарничков на первое место нередко выдвигается ива полярная — корневищное растение, надземные побеги которой несут всего два-три листа; в высокоарктических тундрах (нередко также именуемых полярными пустынями) на долю связанной растительности микроложбинок приходится относительно небольшая доля поверхности, причем подушечки многолетних трав разобщены, фон составляют мхи, кустистые и листоватые, а также корковые лишайники и водоросли.

На поверхности самих полигонов также нередко образуется корка из лишайников и водорослей.

Между названными шестью типами есть переходы; кроме того, во многих тундровых сообществах мозаично чередуются микроценозы, относящиеся к разным структурным типам. В этом шестичленном зональном ряду с юга на север на 3–4 порядка уменьшается вертикальная мощность фитосферы — слоя наивысшего сосредоточения растительной жизни. Соответственно упрощается вертикальная и усложняется горизонтальная структура сообществ, понижается упорядоченность отношений между видами растений; понижается на несколько порядков запас фитомассы и биологическая продуктивность сообществ, их годичная продукция. Столь же резко снижается устойчивость растительного покрова к внешним нарушениям и его способность к самовосстановлению, т.е. повышается его ранимость.

Если учесть различные интра- и экстразональные сообщества нашей области, а также долготную секторальную дифференциацию растительности в зависимости от степени континентальности климата, разнообразие сообществ и экосистем холодной полярной области существенно возрастает. Здесь и разные типы лугов — от низкотравных до высокотравных, степи и тундростепи и их криофитные аналоги, различные типы болот, травянистые группировки солончаков и подвижных песков. Как показали новейшие исследования почвоведов школы И.А. Соколова (МГУ), не менее разнообразен и мир почв Севера.

Анализ всего разнообразия растительных сообществ тундровой зоны от ее гумидных секторов с морским климатом до ультраконтинентальных (с учетом палеогеографических материалов о растительности криоаридных фаз позднего плейстоцена) позволяет утверждать, что в термическом поясе типичной тундры в зависимости от гидротермических соотношений в автономных условиях могут существовать как зональное явление три принципиально отличных типа сообществ и экосистем:

1) мезофитнолуговой — с господством мезофильных многолетних трав, значительной годичной продукцией, так как ежегодно травостой почти полностью обновляется. Для него характерны также высокая сомкнутость травостоя и насыщенность корнеобитаемого слоя, диффузное строение травостоя, луговодерновые почвы и глубокое протаивание или отсутствие мерзлоты. В современную гумидную фазу межледниковой трансгрессии такие сообщества и экосистемы играют большую роль в приатлантических и приберингийских районах полярной безлесной области;

2) тундровый — кустарничково-лишайниково-моховой, о котором уже говорилось. Для него характерно наличие кислого органогенного торфянистого или перегнойного почвенного горизонта, формирующегося под кустарничково-лишайниково-моховой дерниной. В нем располагается основная масса корней и корневищ. В структуре фитомассы также наибольшую роль нередко играют мхи и лишайники. Для этого типа характерно медленное обновление долго функционирующих вегетативных частей растений, медленный рост, диспропорция между значительной фитомассой и низкой продуктивностью сообществ, медленный оборот, экономичное использование находящихся в дефиците оснований и усвояемых форм азотистых соединений и сравнительно небольшая погодичная изменчивость

сообществ. Такие сообщества господствуют в современной тундровой зоне при умеренном континентальном (до резко континентального) климате. В районах с океаническим климатом и отсутствием мерзлоты их особые варианты (типа верещатников и вороничных тундр) занимают выпуклые местоположения с интенсивно промывным режимом почв — кислых, ненасыщенных, сильно выщелоченных. Между первым и вторым типами есть переходы — тундровые луговые и луговинные тундры. При некоторых видах нарушений тундрового покрова, связанных с выпасом, деятельностью роющих или других животных, иногда воздействием гусеничного транспорта (на дренированных участках), тундровые сообщества сменяются более продуктивными луговыми, что послужило основой для разработки И.С. Хантимером (1974) системы агротехнических мероприятий по залужению тундр.

Криофитностепной тип в современную эпоху голоценовой межледниковой трансгрессии представлен реликтовыми степными сообществами в континентальном секторе Чукотской тундры (на крутых южных склонах), играет большую роль на о. Врангеля и в перигляциальных районах Юго-Западной Гренландии. Однако и на самой северной суше — Земле Пири (Северная Гренландия, 83° с.ш.) также известны крайние варианты криофитной степи (Юрцев, 1981). По имеющимся палеоботаническим и палеонтологическим данным (Берингия в кайнозое, 1976), именно криофитные степи, тундростепи и сухие остепненные (очевидно, дриадовые) тундры определяли физиономию растительного покрова Крайнего Севера 20 тыс. лет назад.

Для степной растительности типично господство многолетних ксерофильных трав, в первую очередь дерновинных злаков и корневищно-кустовых дернообразующих осок и стержнекорневых двудольных, также образующих плотные дерновинки. Несомнута травостоя (оставляющая место между дерновинками для ксерофильных лишайников, мхов, а на северо-востоке Азии и сибирского плауна) сочетается в этих районах с предельной насыщенностью корнеобитаемого слоя. Продуктивность выше, чем у тундровых сообществ, за счет ежегодного обновления травостоя, причем она резко колеблется от года к году в зависимости от количества выпавших осадков (лимитирующий фактор — увлажнение). Накоплению ветоши в травостое, как и на лугах, препятствует активность травоядных животных, почвы почти нейтральные или слабощелочные, насыщенные кальцием, гумус корневого происхождения, в почве формируется карбонатный горизонт даже на кислых породах.

К этим сообществам близки тундростепные (переходные) сообщества, с согосподством степных трав и засухоустойчивых кустарничков (виды дриад), остепненные луга, криоксерофитные травянистые сообщества с господством дерновинных кобрезий, осоки скальной и др. Современные их аналоги существуют в высокогорьях Северной Монголии и Скалистых гор Северной Америки (Колорадо).

Итак, то, что наблюдается сейчас, — лишь одно из состояний растительного покрова полярной безлесной области, соответствующее фазе межледниковой морской трансгрессии, затопления северных шельфов. Это необходимо учитывать не только при палеогеографических реконструкциях, но и при построении экологических прогнозов.

Резкое усиление в послевоенные годы внимания к природным богатствам Севера, долгое время остававшимся неразведанными и недоступными, расширение работ по освоению этих ресурсов и за рубежом дали мощный импульс изучению растительного мира советского и зарубежного Севера. Однако изученность разных групп растительных компонентов северных экосистем и растительного покрова остается пока весьма неравномерной.

В настоящее время завершается научная инвентаризация систематического состава растений Арктической области. Для сосудистых (цветковых, голосеменных и папоротникообразных) растений Советской Арктики фундаментальной сводкой является "Арктическая флора СССР" (1961—1980), начатая А.И. Толмачевым и ныне близкая к завершению. Сводка содержит богатый материал по экологии географии видов, их роли в растительности, многочисленные карты ареалов. Кроме того, за последние десятилетия флористические сводки изданы почти для всех секторов нашего Севера. Так, недавно вышли "Флора северо-востока европейской части СССР" (1974—1977), "Определитель высших растений Якутии" (1974). Опубликованы сводки по флоре сосудистых растений почти всех секторов зарубежной Арктики (кроме п-ова Лабрадор). Большинство этих работ содержат точечные карты распространения всех видов растений.

Значительно хуже обстоит дело с инвентаризацией таких важнейших компонентов северных флор, как мхи и лишайники (не говоря уже о водорослях). Все же и здесь имеются очевидные успехи: издан "Определитель листостебельных мхов Советской Арктики" (1961); подготовлены, а отчасти изданы по лишайникам Мурманской области, Таймыра, Западной Чукотки, запада Чукотского полуострова, издан конспект биофлоры Чукотского полуострова и ряд других биологических сводок по отдельным районам Севера. Изученность брио- и лишайнофлоры зарубежного Севера также очень неравномерна.

В настоящее время наиболее широко и планомерно флористические и комплексные ботанико-географические работы в тундровых районах проводят сотрудники групп растительности Крайнего Севера Ботанического института АН СССР. Наиболее детально ими изучена флора Чукотской тундры. Самое обширное флористическое "белое пятно" — Приморская низменность Якутии; почти не изучена также северная часть Корякского нагорья.

Наиболее полно освещена растительность севера европейской части СССР (Растительность европейской части СССР, 1980). За послевоенные годы накоплено очень большое число описаний растительных сообществ для севера Западной Сибири, Таймыра, низовий Лены, Чукотки. Однако они остаются в основном не обработанными в классификационном аспекте. Если довоенные и ранние послевоенные годы ознаменовались живым интересом к проблеме классификации тундровой растительности, появлением разных подходов к классификации (например, в работах Б.Н. Городкова, В.Б. Сочавы, А.А. Корчагина, А.И. Лескова, Ф.В. Самбука, В.Н. Андреева и др.), то в шестидесятые годы интерес геоботаников-тундроведов в значительной степени переключается с вопросов классификации, районирования и сукцессионной динамики растительности на вопросы биологии

и экологии растений Арктики, детальное изучение пространственной структуры сообществ, методические разработки с помощью математических методов, а в период осуществления Международной Биологической Программы (МБП) — на вопросы биогеоценологии. Собственно геоботаников становится все меньше.

Недавно опубликованы "Геоботаническое районирование Арктики и Антарктики" В.Д. Александровой (1977), переизданное в прошлом году в Кембридже на английском языке, и флористическое районирование всей Арктики (Юрцев, Толмачев, Ребристая, 1978) в книге "Арктическая флористическая область". В этой работе приведена схема разделения на ботанико-географические подзоны циркумполярной тундровой зоны. Всего же за последние два десятилетия опубликовано несколько схем ботанико-географической и геоботанической зональности Крайнего Севера, основанных на разных критериях и потому взаимно дополняющих; при этом рубежи I ранга (между зонами или поясами) в разных схемах проводятся между средней и северной (гипоарктической) тайгой, между лесотундрой и тундрой, между северными гипоарктическими (типичными) тундрами и арктическими, наконец, между арктическими тундрами и высокоарктическими, часто именуемыми полярными пустынями, хотя по комплексу признаков они ближе к северным вариантам арктических тундр, чем к полярным пустыням Антарктиды. В высокоарктических тундрах (арктических пустынях) резко усиливается дезинтеграция растительного покрова, из состава сообществ, как правило, выпадают простратные кустарнички, а корневые системы разреженно растущих цветковых часто не смыкаются; фрагменты или сеть связанного покрова образуют мхи, лишайники и водоросли, реже — подушковидные цветковые. Однако состав их тот же, что в северных вариантах арктических тундр, но лишь существенно обедненный; соответственно усиливается роль в покрове видов, наиболее толерантных к минимуму летнего тепла.

Известно, что при движении от экватора к полюсу каждая новая зона приносит и новый комплекс видов, образующих экологически и структурно своеобразные типы сообществ, причем смена зональных комплексов ускоряется и обостряется конкуренцией между ними. Последняя крупная смена зональных комплексов (таежнобореального и тундрового арктоальпийского) наблюдается в полосе контакта тайги и тундры. Положение осложняется тем, что существует количественно небогатый гипоарктический (гемикриофитный) комплекс видов, свойственный северным редкостойным (осветленным) вариантам тайги и южным подзонам тундры и оптимально развитый в полосе контакта тайги и тундры; к нему, в частности, относятся расы карликовой березки, ряд кустарниковых ив, северные расы брусники, голубики, багульника, вороники, образующие основу нижних ярусов гипоарктических редколесий и кустарниковых гипоарктических тундр; широтная полоса, где эти виды процветают и занимают активные позиции в растительном покрове, в одном из зональных делений Севера (Юрцев, 1966) трактуется как гипоарктический ботанико-географический пояс, отделяющий собственно бореальный пояс от собственно арктического; последний объединяет арктические и высокоарктические тундры. На рубеже арктических тундр и высокоарктических никакого нового комплекса не появляется, происходит одностороннее обеднение криофитного (аркти-

ческого и арктоальпийского) комплекса; благодаря этому мы можем наблюдать здесь все стадии деградации криофитного комплекса при приближении к термическим пределам растительной жизни, постоянное перераспределение ролей в покрове между наиболее устойчивыми группами. Поэтому с изложенных выше ботанико-географических позиций (разделявшихся также А.И. Толмачевым, В.Б. Сочавой и Б.А. Тихомировым) арктические пустыни целесообразно трактовать как высокоарктический экстремальный вариант тундр; действительно, почти все отличия их носят односторонне негативный (количественный или качественный) характер. Однако сугубо фитоценологических позиций структурное своеобразие арктических пустынь, характеризующее различные стадии дезинтеграции растительного покрова, по-видимому, достаточно для выделения особой зоны. При ландшафтно-географическом подходе к зональности аргументом за самостоятельность полярных пустынь может служить существование здесь ледяных куполов (Короткевич, 1972). Отмечу только, что противопоставление полярных пустынь и тундр северного полушария как аридных и гумидных образований должно быть пересмотрено в свете новых данных по растительности и почвам разных секторов обеих зональных полос. В каждой из них имеются свои гумидные и аридные варианты (Юрцев, Толмачев, Ребристая, 1978), резкое уменьшение количества выпадающих осадков в высокой Арктике отчасти уравнивается снижением испаряемости.

В низкоарктических районах в современную эпоху межледниковой морской трансгрессии гумидные и умеренногумидные ситуации распространены широко, а субаридные можно наблюдать лишь в перигляциальных районах Юго-Западной Гренландии. Однако в позднем плейстоцене ситуация была обратной той, что наблюдается сейчас. При этом засушливые варианты разных термических поясов сближаются по многим признакам растительности и почв (Юрцев, 1981), что подтверждает известный периодический закон географической зональности А.А. Григорьева и М.Н. Будыко.

Осуществление Международной биологической программы (МБП) привело к существенной перестройке тундроведения, превратившегося из отрасли геоботаники в специальную отрасль биогеоценологии, или общей экологии. В конце 60-х — начале 70-х годов на стационарах МБП у нас и за рубежом был накоплен очень ценный материал по составу, строению и функционированию некоторых модельных тундровых экосистем (биогеоценозов), по характеристике экологических режимов, по биомассе и продуктивности сообществ, цепям питания и т.д. На ряде стационаров проводились физиологические исследования фотосинтеза и дыхания; разработаны физиологические подходы к учету продуктивности. Эти материалы отражены во многих статьях, сборниках и в ряде крупных сводок — трудах отдельных стационаров. Особенно внушительные труды Таймырского (Тарейского) стационара БИН АН СССР, изданные в четырех томах, а из зарубежных изданий — труды станции Барроу (Арктическая Аляска) и станции о-ва Девон (Канадский Арктический архипелаг) (Биогеоценозы Таймырской тундры и их продуктивность, 1971, 1973; Структура и функции биогеоценозов Таймырской тундры, 1978; Биогеоценозы Таймырской тундры, 1980; Vegetation and production ecology of an Alaskan arctic tundra, 1978; Truelove lowland... 1977; Tundra

ecosystems: a comparative analysis (Editors L.S., Bliss O.W., Heal J.). Cambridge University Press, Cambridge; 1981, p. 813.

Исследованиями по МБП сделан колоссальный шаг вперед в изучении тундровых экосистем, значение которого невозможно переоценить. Для дальнейшего движения вперед, однако, следует трезво оценить недочеты этой программы:

случайный выбор пунктов исследований, без взаимного согласования и увязки со схемами ботанико-географического и физико-географического районирования (отсюда — затрудненность экстраполяции данных);

исследования охватили лишь единичные участки отдельных, пусть типичных, биогеоценозов. Сплошь и рядом данные по биомассе и продуктивности статистически не достоверны, отражая лишь порядок величин. Отсюда и основанные на них пересчеты продуктивности для северных зон в целом (Родина, Базилевич и Розов, 1974) также лишены статистической достоверности, хотя, разумеется, очень интересны. Они, в частности, отражают ничтожный вклад тундрового биома в глобальный продукционный процесс. Соответственно и модели экосистем и их отдельных блоков, как правило, носят сугубо качественный характер даже при введении количественных приделжек.

Особенность новой программы "Человек и биосфера" — ее прикладной характер; с одной стороны, это нельзя не приветствовать, с другой — фундаментальные комплексные исследования экосистем не получили в ней продолжения и дальнейшего развития, интерес к ним в северных странах существенно ослаб. У нас и за рубежом сократилось число стационаров, а программа их стала менее полной и комплексной. На этом фоне выделяется изучение зональности в Таймырской тундре по программе комплексных полустационаров, проводимое коллективом сотрудников Группы растительности Крайнего Севера БИН АН СССР и других научных учреждений под руководством Н.В. Матвеевой и Ю.И. Чернова. Одна и та же бригада специалистов отрабатывает по единой программе, выработанной ими еще на Таймырском стационаре БИН АН СССР, широтный срез через тундровый биом на таком почти идеальном зональном полигоне, как Таймырская тундра (Арктические тундры и полярные пустыни Таймыра, 1979).

III

Известно, что интенсивное освоение природных богатств Севера началось сравнительно недавно; именно поэтому его ресурсы рассматриваются как стратегический резерв развития экономики северных стран в обозримом будущем, а растительность многих районов Арктики пока сохранилась в почти первозданном виде.

Между тем повышенная ранимость северных экосистем, их еще крайне недостаточная изученность и трудности проведения исследований в слабо- и ненаселенных северных районах делают особенно злободневными вопросы рационального использования и охраны растительного покрова Севера и диктуют необходимость ставить, изучать и разрешать эти вопросы опережающими темпами по отношению к темпам освоения. Пока же, наоборот, имеет место резкое отставание.

Назовем лишь некоторые самые болезненные вопросы охраны растительного мира Крайнего Севера.

1. Обеспечение охраны северных форпостов леса и всей полосы притундровых редколесий, а также крупных массивов стлаников и кустарников, островных пойменных лесов (отнесение их к лесам 1-й категории по существу отменено недавно введенным лесным законодательством); с этим связаны и вопросы лесоразведения в южной тундре.

2. Охрана равнинной и долинной тундровой и таежно-болотной растительности на льдистой мерзлоте от регулярного воздействия гусеничного транспорта. В настоящее время у нас наблюдается максимальное смещение грузоперевозок на снежное зимнее время, засыпка подъездных путей к поселкам в особо подверженных эрозии и термокарсту участках.

3. Изучение влияния загрязняющих веществ на различные типы тундровых и лесотундровых экосистем, пределов устойчивости, фитоиндикация загрязнения среды; ограничение или полное устранение загрязнения в опасных дозах.

4. Фиторекультивация обработанных полигонов горнодобывающей промышленности с использованием ресурсов северной флоры. Озеленение северных поселков, создание в их окрестностях зеленой зоны отдыха с устойчивым покровом и частичным залужением тундры.

5. Охрана оленьих пастбищ от разрушительного воздействия транспорта, пожаров, сбоя чрезмерным выпасом.

6. Охрана редких и исчезающих видов растений и мест их концентрации — реликтовых сообществ и экосистем. В Чукотской тундре, например, это в первую очередь степные южные склоны, районы термальных источников, островные пойменные леса среди тундры. Необходимо добиться существенного расширения сети охраняемых территорий, а также эффективности охраны. Во 2-е издание "Красной книги СССР" включено семь видов растений Арктики (в основном — берингийские "точечные" эндемики). Во 2-е издание сводки Всесоюзного ботанического общества по охране флоры СССР — свыше 100 видов (большинство для местной охраны). Насущно необходимо законодательное оформление мероприятий по охране растительности и уникального генофонда флоры Севера.

7. Необходимая ботаническая экспертиза мест, где планируется крупное строительство (как часть комплексной экологической экспертизы).

Во всех этих работах ботаникам должна принадлежать роль не только экспертов, но и инициаторов природоохранных мероприятий, функция налаживания и поддержания контакта с местными органами охраны природы, местными и центральными организациями и широкой общественностью.

IV

В заключение приходится констатировать огромную диспропорцию между масштабом задач, стоящих перед северными ботаниками в области фундаментального и прикладного изучения флоры, растительности, экосистем, охраны растительного мира Севера, экологического прогнозирования, и крайней недостаточностью кадров ботаников северной ориентации, которые просто наперечет. Несмотря на неотложность практических задач охраны растительного покрова и генофонда флоры Крайнего Севера, нельзя прекращать или сокращать фундаментальные исследования, составляющие

главную задачу ботанических коллективов системы АН СССР, — иначе мы никогда не придем к действительно научному прогнозу.

Программа фундаментальных и природных исследований северных экосистем и их растительных компонентов в перспективе до 2000 г. была разработана в подготовленном по заданию президента АН СССР академика М.В. Келдыша в коллективном докладе-прогнозе по Северу, опубликованном с сокращениями в сборнике "Экологическое прогнозирование" в 1979 г. (Гельберг и др., 1979). В нем намечена и оптимальная схема организации исследований на основе согласования интенсивных и экстенсивных научных программ, с тем чтобы обеспечить охват объекта во всем его географо-экологическом многообразии и в то же время достичь более глубокого понимания структуры и функционирования экосистем путем концентрации специалистов разного профиля, применения самых мощных современных методов с последующей обоснованной экстраполяцией данных, полученных на стационарах. Именно сеть пунктов детальных исследований, согласованная с сетью охраняемых территорий, и должна стать основой экологического мониторинга. Однако без специальных ассигнований при крайней нехватке специалистов программу эту реализовать крайне трудно. Отсутствие единого полномочного межведомственного центра координации северных исследований и трудности публикации порождают дублирование, раздробленность, разноречивость в методике, а иногда и досадную конкуренцию между ведомствами, неуместную в деле охраны природы. Большинство ботанических коллективов в системе Академии наук СССР перегружены плановой работой и занимаются вопросами охраны природы на общественных началах. Было бы крайне полезно наладить оперативную публикацию рефератов об опыте охраны природы на зарубежном Севере, где в ряде стран за последнее время достигнуты в этом деле серьезные успехи.

Но центральные, ключевые вопросы организации экологических исследований на Крайнем Севере — укрепление и доукомплектование существующих исследовательских коллективов, перспективная подготовка кадров, координация — в частности создание единого координационного центра.

Литература

- Абрамова А.Л., Смирнова З.Н., Савич-Любичкая Л.И. Определитель листостебельных мхов Арктики СССР. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1961. 711 с.
- Александрова В.Д. Геоботаническое районирование Арктики и Антарктики. — В кн.: Комаровские чтения. Л.: Наука, 1977. 188 с, вып. 29.
- Александрова В.Д. Проект классификации растительности Арктики. — Ботан. журн., 1979, т. 64, № 12, с. 1715–1730.
- Биогеоценозы Таймырской тундры. Л.: Наука, 1980. 254 с.
- Гельберг М.Г., Кишинский А.А., Полозова Т.Г. и др. Прогноз изучения и охраны воспроизводимых природных ресурсов Крайнего Севера. — В кн.: Экологическое прогнозирование. М.: Наука, 1979, с. 14–52.
- Григорьев А.А. Субарктика. М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1976. 171 с.
- Короткевич Е.С. Полярные пустыни. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 420 с.
- Родин Л.Е., Базилевич Н.И., Розов Н.Н. Продуктивность растительного покрова Земли. — В кн.: Человек и среда обитания. Л.: Наука, 1974.
- Структура и функции биогеоценозов Таймырской тундры. Л.: Наука, 1978. 303 с.
- Флора северо-востока европейской части СССР. Л.: Наука, 1974–1977. Т. 1–4.
- Хантимер И.С. Сельскохозяйственное освоение тундры. Л.: Наука, 1974. 226 с.
- Юрцев Б.А. Гипоарктический ботанико-географический пояс и происхождение его флоры. — В кн.: Комаровские чтения. М.; Л.: Наука, 1966, вып. 19. 94 с.

- Юрцев Б.А. Реликтовые степные комплексы Северо-Восточной Азии. Новосибирск: Наука, 1981.
- Юрцев Б.А., Толмачев А.И., Ребристая О.В. Флористическое ограничение и разделение Арктики. — В кн.: Арктическая флористическая область. Л.: Наука, 1978, с. 9—104.
- Alexandrova V.D. The Arctic and Antarctic: their division into geobotanical areas. Cambridge, Univ. press, 1980. 247 p.
- Holmen K. The vascular plants of Peary Land, North Greenland. — Medd. Gronland, 1957, vol. 124, N 9, p. 150.
- Truelove Lowland, Devon Island, Canada: a high Arctic ecosystem. Edmonton: Univ. Alberta press, 1977. 714 p.
- Vegetation and production ecology of Alaskan Arctic tundra. N.Y.: 1978, 686 p.
- Editors L.C., Bliss O.W., Heal J.J. Tundra ecosystems: a comparative analysis. Cambridge: Univ. press, 1981. 813 p.

УДК 613.(98)(99)

Некоторые теоретические и прикладные вопросы адаптации человека в высоких широтах

Л.Е. Панин

Исследования, проведенные в высоких широтах (Арктика, Антарктика), в различных климато-географических регионах Сибири и Севера показали, что химический состав внутренней среды (крови) у человека изменяется под влиянием факторов внешней среды, отражая характер адаптационных изменений обмена веществ. Внешняя и внутренняя среда диалектически едины. При действии на организм чрезвычайных раздражителей последний сам активно формирует такую внутреннюю среду, которая позволяет оптимизировать физиологические процессы в новых условиях существования. Это осуществляется с помощью целесообразных эволюционно закрепившихся механизмов. Адаптация человека к комплексу климатических и производственных факторов высоких широт является с биологической точки зрения чрезвычайно сложным процессом, в который включаются практически все функциональные системы организма, все виды его обмена. Изменения обмена белков, жиров, углеводов, витаминов, макро- и микроэлементов являются целесообразными и лежат в основе формирования у человека "полярного метаболического типа". Выявлены также дизадаптационные изменения обмена веществ. Анализ этих изменений в комплексе позволяет осуществить переход от физиологии и патологии отдельных систем к физиологии и патологии состояний человека в суровых климато-географических условиях Заполярья.

Обмен белков. Данный вид обмена характеризуется развитием гипоальбуминемии, увеличением в крови α - и β -глобулинов, снижением отношения альбумины/глобулины. Изменения в период полярного дня более выражены, чем в период полярной ночи. Достоверных отличий в содержании общего белка, а также γ -глобулинов по отношению к контрольной группе не выявлено (табл. 1). Нет достоверных изменений суточного ритма концентрации общего белка в крови. Общий белок — это очень важный показатель состояния внутренней среды. Он определяет такое понятие, как онкотическое давление в сосудах, обусловленное связыванием белками крови определенного количества воды. Его организм стремится

Таблица 1
Изменение белкового спектра в сыворотке крови у людей
в условиях Крайнего Севера (М±м) (по данным (Казначеев и др., 1976))

Показатель	Срок проживания на Севере	
	1–2 мес.	6 мес.
Общий белок, %	7,89±0,07	8,08±0,12
Альбумины, %	4,59±0,05	4,60±0,12
α ₁ -Глобулины, %	0,32±0,12	0,30±0,02
α ₂ -Глобулины, %	0,74±0,02	0,86±0,03
β-Глобулины, %	0,91±0,02	0,98±0,04
γ-Глобулины, %	1,38±0,04	1,36±0,03
Альбумины/глобулины	1,37	1,31

Примечание. Исследования проводились в период полярной ночи (г. Норильск).

Таблица 2
Сезонные колебания сахара крови, свободных жирных кислот
и суммарной фракции липопротеидов низкой и очень низкой плотности
у полярников Антарктиды

Показатель	Антарктида	
	Май–июнь	Август–сентябрь
1. Сахар, мм	2,57±0,1	2,83±0,07
Достоверность	P _{5-1,5-2,5-3,5-4} < 0,01	
2. СЖК, мкм	279,4±20,9	293,5±14,7
Достоверность	P _{5-3,3-1,3-2,3-4} < 0,05	
3. ЛПНП и ЛПОНП, г/л	6,25±0,28	6,65±0,28
Достоверность	P _{5-1,5-2,5-3,3-1,3-2,3-4} < 0,05	

Примечание. Количество обследованных в Новосибирске, в Антарктиде по 20.

поддерживать на определенном уровне при любых условиях существования. Другие показатели белкового обмена могут меняться.

Снижение содержания альбуминов в крови, вероятно, обусловлено повышением энергетической роли белков в условиях хронического напряжения организма. Участие белков в энергообеспечении адаптационных реакций связано с использованием на синтез глюкозы таких аминокислот, как аланин, серин, треонин, орнитин, аспарагиновая кислота и др. Источником этих аминокислот в организме могут быть белки сыворотки крови, например альбумины. Развитие гипоальбуминемии отмечено нами как у пришлого, так и у коренного населения Азиатского Севера. Трансформация аминокислот в глюкозу осуществляется в печени. Данный процесс усиливается под влиянием глюкокортикоидов, продукция которых на

	Срок проживания на Севере			
	1 год	1,5 года	2 года	Контроль
	8,00±0,13	8,32±0,11	8,20±0,08	8,56±0,06
	4,76±0,17	4,90±0,1	4,80±0,09	5,50±0,06
	0,28±0,02	0,28±0,01	0,32±0,02	0,64±0,02
	0,65±0,03	0,79±0,02	0,80±0,04	
	0,92±0,03	1,02±0,04	0,96±0,07	1,19±0,09
	1,42±0,11	1,46±0,05	1,38±0,06	1,48±0,04
	1,45	1,39	1,39	1,84±0,04

	Антарктида	Новосибирск	
	Ноябрь–декабрь	Январь–февраль	Июнь
	2,29±0,1	2,89±0,05	5,0±0,3
	P _{2-1,3-2,4-3} < 0,05		P
	394,7±36,9	249,1±16,0	283,0±17,0
	7,71±0,35	5,95±0,52	4,83±0,27

Севере увеличивается. Увеличение в крови содержания α- и β-глобулинов указывает на изменение иммунологических свойств сыворотки крови.

Наиболее значительные изменения белков крови выявлены у новорожденных (Цырельников, 1979). Отмечается снижение содержания общего белка на 25–30%. Оно обусловлено преимущественно уменьшением концентрации альбумина, γ-глобулина и медленных постальбуминовых фракций. С увеличением срока проживания женщины на Севере концентрация альбумина и γ-глобулина у новорожденных возрастает, но не достигает границ контрольной группы. Содержание β-глобулина в крови новорожденных на Севере увеличено. Эта разница тем выше, чем больше срок проживания матери на Севере.

Таким образом, изменения белкового спектра у взрослых и новорож-

денных имеют общие черты, но у последних они выражены в большей степени. С возрастом эти изменения в значительной степени компенсируются.

Обмен углеводов. Показано, что содержание сахара в крови у пришлого населения Заполярья находится на нижней границы нормы и нередко выходит за ее пределы. У отдельных индивидуумов оно может снижаться до 45—50 мкг% без каких-либо иных признаков гипогликемии с сохранением удовлетворительного состояния здоровья и физической работоспособности. Такие случаи наблюдались на Севере и в Антарктиде у зимовщиков, работающих постоянно на открытом воздухе при низких температурах окружающей среды (табл. 2). Анализ этого феномена показал, что у человека в высоких широтах под влиянием комплекса климатогеографических факторов снижается почечный барьер для соединений крови. Сахар является одним из них. Сахарные нагрузки у таких лиц не приводят к быстрому и значительному подъему сахара в крови. Сахарные кривые у них имеют торпидный вид, очень быстро сахар появляется в моче.

Скорость анаэробного окисления углеводов определялась в гемолизате эритроцитов в реконструированной системе, включающей все необходимые активаторы и кофакторы в оптимальных концентрациях (Панин, Третьякова, 1978). Для выяснения состояния лимитирующих звеньев этого процесса использовали такие субстраты, как глюкоза, глюкозо-6-фосфат и фруктозо-1,6-дифосфат. Добавление в среду инкубации субстрата, идущего в метаболическом ряду ниже лимитирующего фермента, ступенчато увеличивает скорость гликолиза. Применение этого метода показало, что в контрольной группе лиц (г. Новосибирск) лимитирующим ферментом гликолиза является гексокиназа — первый фермент в данной метаболической цепи. Использование в качестве субстрата глюкозо-6-фосфата увеличивает скорость гликолиза практически втрое. Следующим "узким" ферментом гликолиза является фосфофруктокиназа — третий фермент гликолиза. Использование в качестве субстрата фруктозодифосфата (продукта фосфофруктокиназной реакции) еще больше увеличивает скорость гликолиза. Согласно существующим представлениям, еще одним "ключевым" ферментом гликолиза является пируваткиназа. Состояние этого фермента нами не изучалось.

У пришлого населения азиатского Севера вышеуказанные взаимоотношения между ключевыми ферментами гликолиза сохраняются, однако скорость на глюкозе достоверно ниже. Это свидетельствует об ингибировании гексокиназы, роль которой как лимитирующего фермента гликолиза возрастает еще больше. В Антарктиде эти изменения еще более выражены. Самой низкой скоростью гликолиза была на глюкозе (лимитирующий фермент гексокиназа). При добавлении в среду инкубации глюкозо-6-фосфата она значительно возрастала и оставалась практически такой же, как и при добавлении фруктозодифосфата. Эти результаты указывают на то, что у зимовщиков Антарктиды снижена активность по крайней мере трех ферментов гликолиза, играющих роль ключевых: гексокиназы, фосфофруктокиназы и еще одного фермента, идущего в гликолитической цепи ниже фосфофруктокиназы. Возможно, это альдолаза или пируваткиназа. Ответ на этот вопрос требует дальнейших более глубоких исследований.

Полученные результаты говорят о торможении углеводного обмена у человека в высоких широтах. На это же указывает и низкая артериовеноз-

ная разность по сахару. Роль углеводов в энергообеспечении физиологических функций и адаптационных реакций человека на Севере снижается. Эти изменения носят адаптационный характер и целесообразны. Выявлены также и дизадаптационные изменения углеводного обмена на Севере. Они связаны с дефицитом в продуктах питания витаминов группы В, в первую очередь витамина В₁. У таких лиц снижается активность тиаминзависимых ферментов. Так, ингибирование пируватдекарбоксилазы — одного из конечных ферментов гликолиза, приводит к одновременному повышению в крови содержания сахара, пирувата и лактата. Это классический признак гиповитаминоза В₁. При недостаточном содержании биозлементов в продуктах питания и питьевой воде также могут развиваться дизадаптационные изменения обмена веществ. Например, при недостатке магния активность гексокиназы снижается в еще большей степени (Панин, 1978). Полученные изменения в равной степени относятся как к Арктике, так и к Антарктике.

Обмен липидов. В высоких широтах у человека повышено в крови содержание липидных фракций: общих липидов, холестерина, фосфолипидов, свободных жирных кислот, липопротеидов всех классов и в меньшей степени триглицеридов (табл. 2, 3). Использование метода артерио-венозных разниц показало, что наиболее активно ткани (мышцы) поглощают свободные жирные кислоты (СЖК). Повышена активность липопротеиновой липазы, которая локализуется на поверхности эндотелия капилляров. В результате этого усиливается процесс расщепления липопротеидов очень низкой плотности (ЛПОНП), которые трансформируются в липопротеиды высокой плотности (ЛПВП). Это приводит к тому, что в венозной крови меньшим оказывается содержание суммарной фракции ЛПНП и ЛПОНП, чем в артериальной, а липопротеидный спектр при этом смещается в сторону ЛПВП (табл. 4). Полученные данные указывают на то, что в высоких широтах у человека возрастает роль липидов в энергообеспечении физиологических функций и адаптационных реакций. Эти изменения липидного обмена целесообразны, их нельзя рассматривать как проявление острой фазы развития атеросклероза или ишемической болезни сердца. В пользу этого говорит тот факт, что одновременно с повышением в крови содержания такой транспортной формы жира, как ЛПОНП, еще в большей степени увеличивается содержание ЛПВП. О причинах этого явления говорилось выше. Если ЛПОНП осуществляют транспорт холестерина из печени в периферические ткани, то ЛПВП осуществляют обратный процесс. Сохранение оптимального равновесия между ЛПОНП и ЛПВП в крови является основным условием, препятствующим развитию атеросклероза и жировой дегенерации тканей.

Дизадаптационные изменения липидного обмена в высоких широтах зависят от ряда причин. Так, например, в условиях азиатского Севера нами выявлены сезонные колебания показателей липидного обмена: повышение содержания липидных фракций в крови в период полярной ночи и снижение — в период полярного дня. Оказалось, что сезонные колебания показателей углеводного обмена в крови находятся в противофазе: повышаются в период полярного дня и снижаются в период полярной ночи. Это те изменения, о которых мы уже говорили: одновременное повышение в крови содержания сахара, пирувата и лактата. Они связаны с дефицитом в продуктах питания витаминов группы В, витамина В₁ прежде всего. В Заполярье

Таблица 3
Липиды сыворотки крови у жителей поселка Диксон (М±м)

ЛПНП и ЛПОНП, г/л	Триглицериды, мм	СЖК, мкМ
4,97±0,02	1,07±0,02	613±56

П р и м е ч а н и е. Обследовалось мужское население поселка, n = 27.

Таблица 4
Изменение липопротеидного спектра сыворотки крови (М±м)

Сыворотка крови	Фракции липопротеидов, %			
	α_1 -ЛП (ЛПВП)	α_2 -ЛП (ЛПВП)	β -ЛП (ЛПНП)	пре- β -ЛП (ЛПОНП)
Артериальная кровь	34,0±1,7	25,0±1,7	23,2±2,7	17,8±1,5
Венозная кровь	36,6±2,6	26,4±2,0	22,2±1,4	14,8±1,1

П р и м е ч а н и е. Результаты получены на тех же лицах, что и в табл. 3, n = 27.

недостаточность витаминов в организме проявляет себя в большей степени летом. Это обусловлено тем, что свежие продукты сюда завозятся в конце навигации. Именно летом можно чаще всего обнаружить признаки гиповитаминоза В₁, выражающиеся в торможении углеводного обмена (одновременное повышение в крови сахара, пирувата и лактата). В этот период используются липиды организмом в большей степени как энергетический материал и содержание их в крови снижается. Именно этот механизм лежит в основе сезонных колебаний показателей углеводного и липидного обменов.

При недостаточно высоком уровне антиокислительной активности (АОА) в печени и крови может увеличиваться содержание гидроперекисей жирных кислот в клеточных мембранах, например, повышается содержание их в мембранах эритроцитов (Куликов, Ляхович, 1980). Это приводит к снижению устойчивости эритроцитов к действию осмотического шока, усилению перекисного гемолиза. Вероятно, с изменением физико-химических свойств в связи с накоплением гидроперекисей липидов в мембранах на Севере значительно чаще встречаются эритроциты необычной, причудливой формы. Эти изменения выражают синдром липидной перекисидации у человека в условиях высоких широт. Нарушение структурно-функциональных свойств клеточных мембран, обусловленное повышенным содержанием в них радикалов жирных кислот, — проявление дизадаптационных изменений липидного обмена. Причинами этого могут быть разные моменты: низкое содержание витамина Е и других антиоксидантов неферментативной природы в продуктах питания, ингибирование АОА ферментативной природы в клетках, повышенное поступление в организм прооксидантов, например металлов с переменной валентностью, и др.

У лиц с высоким уровнем психо-эмоционального напряжения также

выявлены признаки дизадаптационных изменений липидного обмена. Они являются частью синдрома психо-эмоционального напряжения, к основным признакам которого относятся: 1) высокий уровень личностной и ситуационной тревожности, снижение фрустрационной толерантности, 2) снижение степени социальной адаптации, 3) повышение вегетативного тонуса и активности симпатно-адреналовой системы, 4) повышение активности гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы, 5) увеличение в крови содержания липидов, торможение трансформации ЛПОНП в ЛПВП. Последний момент является причиной того, что в крови у эмоционально напряженных людей начинают доминировать атерогенные фракции липопротеидов — ЛПОНП и ЛПНП. Это создает предпосылки наряду с повышением сосудистого тонуса и сосудистой проницаемости к развитию ишемической болезни сердца.

Энергетический обмен. В условиях Азиатского Севера у пришлого населения повышена частота дыхания, минутный объем дыхания, остаточный объем легких. Насыщение артериальной крови кислородом, а также напряжение кислорода в крови практически такое же, как и в контрольной группе (г. Новосибирск). В венозной крови оба показателя достоверно ниже (Казначеев и др., 1976). Эти результаты указывают на увеличение артерио-венозной разности по O_2 и на повышенную потребность в нем периферических тканей. Установлено смещение кислотно-щелочного равновесия в сторону метаболического ацидоза с полной его респираторной компенсацией. В венозной крови недостаток оснований составляет $4,0 \pm 0,3$ экв/л, pCO_2 — $52,9 \pm 1,5$ мм рт.ст., pH — $7,26 \pm 0,007$ (Казначеев и др., 1976). Повышена проницаемость кровеносных капилляров. Предпочтительное окисление жиров свидетельствует о том, что энергетический обмен у человека в условиях высоких широт переключается с "углеводного" типа на "липидный". Как уже отмечалось, повышается энергетическая роль белков.

Обмен витаминов. Выявлено снижение содержания водорастворимых витаминов (B_1 , B_2 , C) в крови и моче у человека в высоких широтах. Согласно традиционным представлениям, это всегда связывалось с недостаточным поступлением витаминов в организм из-за низкого содержания их в продуктах питания. Так, по рекомендациям Института питания, суточная норма для северной климатической зоны для витамина B_1 и B_2 составляет 5 мг, для витамина C — 100–150 мг. Учитывая этот факт, а также наличие стойких гиповитаминозов на Севере, мы попытались провести коррекцию B_1 — витаминной недостаточности, вводя людям лечебные дозы препарата — 60 мг/сут внутримышечно и *per os* в течение двух недель ежедневно. Однако, несмотря на лечебные дозировки, получить положительный эффект не удалось. Более того, зимой в тех группах, в которых исходное содержание витамина в крови составляло 4 мкг% и более, отмечалось даже его снижение до 3 мкг%. В тех группах, в которых исходное содержание тиамин в крови было ниже 2 мкг%, удавалось поднять его уровень до 2,5 мкг%. Практически весь витамин выводился из организма преимущественно с мочой и в меньшей степени с калом. Выведение с калом тиамин было более выраженным при введении последнего *per os*. Таким образом, устойчивое содержание тиамин в крови в условиях Заполярья, по нашим данным, варьирует в пределах 2,5–3,0 мкг%. Видимо, это значение необходимо принять за норму для данного климатического

Таблица 5
Изменение содержания микроэлементов в цельной крови
у пришлого населения Азиатского Севера

Группа обследуемых людей	Fe	Cu	Si
Контрольная группа (24), г. Красноярск	8,22±0,17	0,0162±0,0009	0,0420±0,0021
Опытная группа (103), г. Норильск	8,43±0,07	0,0132±*0,0002	0,0331±*0,0007
Профгруппа (40), г. Норильск	8,56±0,13	0,0129±0,0004	0,0361±0,0028
Полярная зима (24)	8,46±0,10	0,0141±0,0012	0,0506±0,0035
Полярное лето (25)	8,30±0,16	0,0133±0,0007	0,0211±**0,0013

Примечание. Результаты даны в процентах на золу. В скобках указано количество обследованных лиц.

* — отмечены достоверные изменения по отношению к контрольной группе,

** — отмечены достоверные различия между сезонами.

Таблица 6
Изменение активности транскетолазы
и ТДФ-эффекта гемолизата эритроцитов у полярников Антарктиды

Время исследования	Активность транскетолазы, мкМ/мл эритроцитов в час; ТДФ-эффект, %			
	I группа	II группа	I группа	II группа
2 месяца зимовки (май)	17,52±2,90	11,61±2,77	0	14,0±0,5
5 месяцев зимовки (август-сентябрь)	22,84±2,49	24,50±1,19**	6,0±0,6	0
10 дней витаминотерапии	23,96±2,74	24,81±1,16	15,0±0,3*	12,0±0,5*
20 дней витаминотерапии	28,30±1,90*	25,69±2,37	3,8±0,25*	8,5±0,75

Примечание. I — получали витамин B₁ в/м. II — получали витамин B₁ per os.

* — достоверные отличия в августе.

** — достоверные отличия в мае.

географического региона. Она определяется величиной почечного барьера, который в высоких широтах оказывается ниже, чем в средних. Аналогичная норма для витамина B₂ в крови равна приблизительно 4,0 мкг%.

При вышеуказанных нормах содержания тиамин в крови происходит достаточно полное насыщение тиамин (точнее, тиаминдифосфатом,

	Al	Mn	Ti	Ni
	0,0451±0,0038	0,00054±0,00001	0,00074±0,00006	0,00074±0,00002
	0,0233±*0,0007	0,00049±*0,00001	0,00051±*0,00002	0,00058±*0,00001
	0,0232±0,0016	0,00046±0,00001	0,00049±0,00009	0,00077±0,00004
	0,0440±0,0026	0,00050±0,00001	0,00068±0,00001	0,00079±0,00004
	0,0152±**0,0007	0,00050±0,00001	0,00046±**0,00001	0,00056±**0,00006

ТДФ) транскетолазы — тиаминзависимого фермента. Степень насыщения ТДФ определяется по увеличению активности фермента при добавлении избытка кофермента в среду инкубации. Она выражается в процентах по отношению к исходной величине, т.е. рассчитывается так называемый ТДФ-эффект. Согласно современным представлениям (Birn, 1962), по величине ТДФ-эффекта принято выделять три стадии развития гиповитаминоза B₁: 1-я стадия — биохимическая (ТДФ-эффект, колеблется от 0 до 15%), 2-я стадия — умеренный дефицит (ТДФ-эффект, колеблется от 16 до 25%), 3-я стадия — выраженный дефицит (ТДФ-эффект, превышает 25%). В соответствии с приведенной классификацией выявленный в высоких широтах дефицит тиамин укладывается в начальные стадии развития гиповитаминоза. Эти результаты были получены как в условиях азиатского Севера, так и в Антарктиде (табл. 5 и 6). В Антарктиде активность транскетолазы была даже выше, чем в контрольной группе (г. Новосибирск), что, вероятно, обусловлено усилением эритропоэза и появлением молодых форм эритроцитов с более высокой активностью фермента.

С целью поиска эффективных средств профилактики и борьбы с гиповитаминозами на Севере, кроме кристаллического витамина B₁ (тиаминбромид), использовались другие его фармакологические препараты: кокарбоксилаза, витамин B₁ вместе с Mg²⁺ и желатиной внутримышечно; витамин B₁ в сочетании с микроэлементами, дефицит которых был нами ранее выявлен (Mg, Mn, Zn и Co), per os витамин B₁ вместе с дрожжевым напитком; просто дрожжевой напиток с содержанием тиамин 0,03—0,05 мг и более. Наиболее благоприятным оказался результат, полученный при внутримышечном введении витамина B₁ вместе с сернокислой магнием (0,3 мл 25% раствора) и желатиной (1,0 мл 10% раствора). Данный

препарат использовался как своеобразная депонированная форма тиаминa, где металл выполнял роль лиганда, осуществляющего связь витамина и низкомолекулярного белка. Этот препарат тиаминa можно рекомендовать для использования в медицинской практике. Несколько менее выраженным оказался эффект от внутримышечного введения коферментной формы витамина В₁ — кокарбоксилазы. Содержание витамина В₁ в крови не удалось повысить при введении его в организм вместе с микроэлементами *per os*. Микроэлементы вводились в количестве половины суточной потребности человека вместе с витамином в желатиновых капсулах. Однако заслуживает внимания в этом случае увеличение всасывающей способности кишечника: потери витамина с калом в этой группе были в три раза меньше, чем в группе лиц, получавших один витамин или вместе с дрожжевым напитком. Это прямо указывает на связь между обменом витаминов и микроэлементов в организме.

Таким образом, нужно помнить, что употребление в пищу воды с низкой минерализацией, использование продуктов питания с низким содержанием микроэлементов может привести к развитию вторичных гиповитаминозов в результате потери витаминов с калом.

Обмен макро- и микроэлементов. Количественное определение микроэлементов производилось методом эмиссионного спектрального анализа в образцах цельной крови после ее высушивания и озоления. Исследования проводились в сравнительном аспекте: обследовались мужчины-доноры двух промышленных центров — г. Норильск (Крайний Север) и г. Красноярск (юг Западной Сибири). Содержание железа в крови оказалось одинаковым в обеих группах, меди, кремния, алюминия, марганца, титана и никеля — у северян значительно ниже. Интересно, что у людей, работающих на предприятиях, имеющих отношение к технологическому процессу медно-никелевого производства (профгруппа) в условиях Севера, содержание микроэлементов тех же металлов в крови, кроме железа и никеля, было ниже. Полученные результаты показали отсутствие различий в содержании железа, меди и марганца в зависимости от сезона года. Содержание кремния, алюминия, титана и никеля достоверно ниже летом, чем зимой. Вероятно, в этом какую-то роль играет снижение минерализации воды летом в связи с разбавлением стока рек при интенсивном таянии снега и льда.

С помощью атомо-адсорбционной спектрометрии в северной популяции людей установлено снижение в крови содержания кальция, магния, натрия и цинка при нормальном содержании железа, меди и калия (Панин, 1978). Исследования проводились в период полярного лета. Установлено также снижение в цельной крови марганца и цинка при повышенном содержании меди, никеля и свинца (Золотухина, 1978). Некоторая вариабельность результатов у разных авторов, вероятно, связана с различиями в обследуемых группах, сезонах года, влиянии факторов производства.

В условиях Севера вредное влияние производственных факторов, в том числе и различных металлов при технологических процессах, на человека зависит от особенностей метаболизма в данных экологических условиях, от того соотношения, в котором они поступают в кишечник. Очевидно, низкая минерализация питьевой воды может снижать ассимиляцию биоэлементов, поступающих в организм в достаточном или даже

повышенном количестве. Важную роль может играть работа адаптационных механизмов, направленная на выведение избыточного количества металлов из организма. Разумеется, судить об этих процессах только по результатам, полученным при анализе крови, неправомерно. Не исключена возможность депонирования металлов в других тканях, например в печени, скелете и т.д. Таким образом, особенности биогеохимических провинций, одновременное влияние на человека факторов производства в конкретных экологических условиях, характер обмена веществ, состояние адаптационных механизмов представляют единую комплексную проблему, требующую различных подходов при ее решении.

Особенности гормональной регуляции обмена веществ. Характер адаптационных изменений метаболизма у человека в высоких широтах невозможно понять без учета изменений со стороны эндокринной системы, анализа эндокринно-метаболических взаимоотношений. Показано, что в высоких широтах повышена активность симпато-адреналовой и гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой систем. Однако, судя по содержанию катехоламинов и глюкокортикоидов в крови, эта активация выражена не столь значительно. Порою даже можно не обнаружить разницы между соответствующими гормонами в высоких широтах и на материке, в средних широтах. Клиренс катехоламинов и глюкокортикоидов в высоких широтах, как правило, выше. Под влиянием чрезвычайных раздражителей (охлаждение, физическая нагрузка и т.д.) содержание катехоламинов и глюкокортикоидов в крови увеличивается. Особенностью эндокринной регуляции метаболизма здесь является то, что под влиянием суровых климато-географических факторов формируются предпосылки для развития функционального диабета. Эти способности проявляют себя уже в состоянии физиологического покоя: сахарные кривые у таких лиц имеют торпидный характер, сахар быстро появляется в моче. Нередко сахар в моче обнаруживается и в ее исходных порциях. Под влиянием чрезвычайных раздражителей (охлаждение, физическая нагрузка) степень выраженности функционального диабета возрастает. Изменения со стороны инсулярного аппарата даже более выражены, чем со стороны гипоталамо-надпочечниковой системы. Несомненно, развитию функционального диабета способствует снижение почечного барьера для сахара, что обеспечивает снижение его концентрации в крови. Известно, что глюкоза является сильным химическим раздражителем для инсулярного аппарата и приводит к увеличению выделения инсулина в кровь. Активации инсулярного аппарата способствует также высокоуглеводное питание. Все это мешает проявлению гипергликемической фазы стресса в условиях Арктики и Антарктики.

Функциональный диабет (диабет напряжения) — это не патология, а целесообразная адаптивная реакция эндокринной системы на действие неблагоприятных факторов окружающей среды и чрезвычайных раздражителей. Инсулин является контргормоном по отношению к катехоламинам и глюкокортикоидам. При снижении концентрации инсулина в крови или инсулиноподобной активности усиливается "метаболический эффект" этих гормонов. Таким образом, снижая уровень инсулина, организм переходит на новый уровень регуляции, при котором адаптивный характер действия катехоламинов и глюкокортикоидов проявляется

при более низком содержании этих гормонов в крови, что и показано с помощью корреляционного анализа (Панин, 1978). Переход на новый уровень регуляции позволяет понять механизм перестройки метаболизма у человека в условиях Заполярья, в первую очередь энергетического обмена, путем переключения его с углеводного типа на липидный. Данный механизм чрезвычайно целесообразен, с помощью его организму удается избежать значительного усиления катаболических процессов (умеренное повышение концентрации глюкокортикоидов), но обеспечить торможение углеводного и усиление липидного обмена.

Из теоретических исследований вытекает ряд чрезвычайно важных практических проблем.

Региональные нормы показателей внутренней среды. В связи с адаптационными изменениями метаболизма ("полярный метаболический тип") у человека в высоких широтах формируются иные нормы показателей внутренней среды. Они отражают особенности экологии человека в данном климато-географическом регионе, а также особенности производственных факторов. Организм переходит на новый уровень гомеостаза. Отсюда следует, что наши представления о здоровье человека в разных экологических условиях будут разные. До сих пор при оценке здоровья человека мы ориентировались на нормы, характеризующие некоего статистически среднего человека. Такого человека в природе не существует. Есть конкретные люди, живущие в конкретных климато-географических, производственных и других условиях. Говоря об этом, необходимо подчеркнуть, что сегодня перед нами стоят две альтернативы: 1) либо мы должны существенно расширить границы показателей здоровья человека, отражая особенности их в разных климато-географических регионах; 2) либо мы должны создать справочники по региональным нормам здоровья. Таких справочников пока нет, однако они совершенно необходимы медицине, для того чтобы разрабатывать мероприятия по массовому обследованию людей, предпатологической диагностики, профилактики заболеваний. Естественно, второй путь более целесообразен.

Адаптация и питание человека в высоких широтах. Важнейшим практическим вопросом является вопрос о нормах питания. Особенности экологии в различных климато-географических регионах Земли всегда находят отражение в рационализации питания коренного и пришлого населения. В питании человека больше, чем где бы то ни было, проявляется специфика природных условий, характер изменений внешней и внутренней среды, которые определяют "местные" нормы потребления пищевых веществ. Они отражают генетические особенности популяции, природу адаптационных изменений обмена веществ и реальные возможности производства продуктов питания в данной местности. Необходимость соответствия типов питания характеру обмена веществ, обусловленному видовой принадлежностью или особенностями адаптационных изменений, вытекает из закона сбалансированного питания. "Закон сбалансированного питания, определяющий пропорции отдельных веществ в рационах питания, отражает всю сумму обменных реакций, характеризующих химические процессы, лежащие в основе жизни организма" (Покровский, 1974).

Знание закономерностей адаптационных изменений обмена веществ в различных климато-географических регионах страны ставит по-иному

решение проблемы сбалансированного питания человека и требует учета специфики экологических и производственных факторов. Рекомендации, разработанные для средних широт, естественно, не соответствуют нормативам питания человека в высоких широтах. Необходимо также признать недостаточными рекомендации, которые дает Комитет по потребностям в калориях Организации по вопросам пищевых продуктов и сельского хозяйства при ООН: с понижением среднемесячной температуры на каждые 10°C калорийность питания должна быть увеличена на 5%, считая за исходную температуру $+10^{\circ}\text{C}$.

Нет сомнения, что вопросом первостепенной важности является не только количественное, но и качественное изменение питания в связи с тем, что суточная потребность в различных компонентах пищи зависит от особенностей адаптационных сдвигов и меняется непропорционально калорийности пищи. Так, в условиях высоких широт в состоянии длительного напряжения изменения метаболизма таковы, что более целесообразным является белково-липидный тип питания. Необходимо предусмотреть, чтобы белки содержали достаточное количество незаменимых и глюкогенных (используемых на энергетические нужды) аминокислот. Пищевой жир должен содержать большое количество непредельных жирных кислот, используемых как структурный элемент клеточных мембран. Высокая окисляемость непредельных жирных кислот требует увеличения антиоксидантной защиты. В связи с этим в пище должно быть повышено содержание жирорастворимых витаминов, таких, как витамин Е. В связи с повышенным использованием в энергетическом обмене липидов и уменьшением энергетической роли углеводов меньшей становится потребность в некоторых витаминах, например таких, как B_1 , B_2 , в расчете на 1000 ккал. Однако для профилактики гиповитаминозов на Севере целесообразно все-таки нормы витаминов, в том числе и водорастворимых, увеличивать. Это обусловлено тем, что в связи со снижением почечного барьера для ряда витаминов, большей потери их с калом при употреблении в пищу низкоминерализованной воды запасы их в организме могут существенно уменьшаться. Роль витаминов возрастает и в период реадaptации после возвращения полярников с зимовки домой. В данном случае могут развиваться признаки гиповитаминозов в связи с увеличением потребности организма в витаминах на фоне снижения их запасов.

При разработке рациональных подходов к решению проблемы сбалансированного питания человека в условиях Заполярья необходимо учитывать многовековой опыт питания аборигенов Севера. Известно, что аборигены Азиатского Севера употребляют в большом количестве мясо, рыбу, т.е. белково-липидную пищу. Целесообразность такого питания человека на Севере можно видеть хотя бы по тому, как оно влияет на усвоение некоторых биологически активных веществ. Так, если в питании аборигенов заменять белки и жиры на углеводы, то снижается усвоение витамина С. Приведенные данные говорят о том, что опыт питания аборигенов Севера и пришлого населения, усвоившего их пищевые привычки, имеет рациональную основу. Использование в пищу продуктов местного значения весьма целесообразно. В качестве примера можно привести оленину, являющуюся важнейшим продуктом питания аборигенного населения Севера. Олень сыграл важную роль в освоении человеком этого

сурового края: как средство передвижения и как продукт питания. Многочисленными исследованиями показано, что мясо северного оленя обладает высокой калорийностью. Белки оленины содержат весь спектр незаменимых аминокислот, жиры — большое количество непредельных жирных кислот (линолевую, леноленовую, арахидоновую и др.). Оленина богата разнообразными витаминами: В₁, В₂, В₆, С, ПП, А, Д, Е и др. Мясо северного оленя является ценным источником многих микроэлементов, таких, как железо, цинк, медь, марганец, никель и др. По всем перечисленным выше качествам оленина значительно превосходит говядину, поэтому является биологически более ценным продуктом. Оленина может служить прекрасным мясным продуктом для любых высокоширотных экспедиций, в том числе и антарктических. Заслуживает внимания употребляемый аборигенами жир морского зверя, который содержит в большом количестве незаменимые жирные кислоты и антиоксиданты неферментативной природы. Известно также, что в северных районах страны повышается биологическая ценность продуктов растительного происхождения, дикоросов; в первую очередь это относится к содержанию в них витаминов и других биологически активных веществ.

Разумеется, не все в питании аборигенов может быть использовано пришлым населением. Например, технология приготовления многих продуктов (копальхен, юкола и др.) несовершенна и не выдерживает гигиенических требований. Не может быть рекомендовано употребление в пищу строганины. Широкое распространение сыроедения на Севере является выражением поиска полноценных источников водорастворимых витаминов в продуктах животного происхождения и других биологически активных веществ. Это целесообразно, так как термическая обработка пищи разрушает витамины. Однако распространение на Север глистных инвазий делает этот опыт неприемлемым. В последнее время на Север проникают режимы питания и пищевые привычки, характерные для других, более южных регионов страны. Это касается не только пришлого, но и коренного населения Севера. Широкое использование в питании аборигенов нетрадиционных для них продуктов, таких, как сахар, конфеты, кондитерские изделия и т.д., может нанести ущерб их здоровью. Эти проблемы сегодня требуют всестороннего и глубокого анализа.

Литература

- Золотухина И.Т. Некоторые вопросы экологической биогеохимии и содержание микроэлементов в кровь здорового человека в условиях Севера. — В кн.: Научно-технический прогресс и приполярная медицина. Тез. докл. IV Междунар. симп. по приполярной медицине. Новосибирск, 1978. 184 с.
- Казначеев В.П. и др. Кислородный обмен и реакции перекисного окисления липидов у человека при адаптации к условиям Крайнего Севера. — В кн.: Актуальные вопросы адаптации человека в условиях Крайнего Севера и Антарктиды. Новосибирск, 1976, с. 3—15.
- Казначеев В.П., Панин Л.Е., Коваленко Л.А. Проблема сбалансированного питания в связи с особенностями метаболической адаптации человека на Севере. — Физиология человека, 1976, № 4, с. 646—652.
- Куликов В.Ю., Ляхович В.В. Реакции свободнорадикального окисления липидов и некоторые показатели кислородного обмена. — В кн.: Механизмы адаптации человека в условиях высоких широт. М.: Медицина, 1980, с. 60—87.

- Панин Л.Е. Энергетические аспекты адаптации. М.: Медицина, 1978. 190 с.
- Панин Л.Е., Третьякова Т.А. Влияние адреналина, гидрокортизона, инсулина и дибутирил-ц-АМФ на гликолиз и гликогенолиз в переживающих срезах печени белых крыс. — Бюл. эксперим. биологии и медицины, 1978, № 11, с. 541—547.
- Покровский А.А. Роль биохимии в развитии науки о питании. М.: Наука, 1974, 9 с.
- Цирельников Н.И. Изменение фето-плацентарной системы в Заполярье. — В кн.: Вопросы экологии человека в условиях Крайнего Севера. Новосибирск, 1979, с. 61—73.
- Brin M. Erythrocyte transketolase in early thiamine deficiency. — Ann. N.Y. Acad. Sci., 1962, vol. 98, p. 528—541.

УДК 502.7 (98)

Современные проблемы охраны биосферы на Кольском Севере

В.В. Крючков

Зоны Крайнего Севера расположены в основном на территории с многолетнемерзлыми грунтами, которые занимают около 50% площади нашей страны. Южные границы Крайнего Севера и районов, приравненных к нему, и многолетнемерзлых грунтов также примерно совпадают. Совпадение нескольких границ не случайно — оно свидетельствует о природном и социально-экономическом единстве этого огромного региона, который в дальнейшем мы будем именовать просто "Север".

Север за несколько десятков лет сделал скачок от патриархально-общинного способа ведения хозяйства к социалистическому. Но этот колоссальный скачок не мог не сказаться на природе этого региона. Положение усугубляется слабой исследованностью Севера и чрезвычайной хрупкостью и уязвимостью его природы.

Рассмотрим воздействие человека на природные компоненты Севера.

Почвенно-растительный покров в процессе освоения северных территорий подвергается наибольшему изменению. Воздействие человека на северную границу лесов, начавшееся 3—6 тысячелетий тому назад, в сочетании с естественными процессами ведут к ее деградации и отступлению границы лесов к югу. У своих полярных пределов деревья редки — несколько десятков на гектар (вместо нескольких сотен и даже тысяч на гектар в средней тайге), низкорослы, возраст их превышает 100—200 лет, подрост очень редок. Если придерживаться правила непрерывного лесопользования в его утилитарном понимании, то у полярных пределов можно рубить одно-два дерева на 1 га в 150—200 лет. На самом деле в течение многих столетий оленеводы и охотники изымали у полярной границы лесов древесины на бытовые нужды значительно больше.

Страшным бедствием для северной границы лесов были пожары. В результате уже к допромышленному периоду освоения Севера (30-е—40-е го-

ды нашего столетия) сформировалась полоса относительного безлесья тундры (это преимущественно кустарниковая южная тундра) шириной от 30–50 до 200–250 км. Здесь когда-то были лесотундровые редколесья, так как на этой территории имеется минимум тепла для роста и развития деревьев. Но все усиливающийся антропогенный пресс в сочетании с ухудшившимися природными условиями не только не позволяет деревьям восстановить свои позиции, но напротив — северная граница лесов отступает к югу.

Общая площадь полосы относительного безлесья тундры в северном полушарии составляет более 1 млн. км². Это колоссальная площадь, на которой бы могли разместиться такие крупные европейские государства, как Великобритания, ФРГ и Франция.

Строительство населенных пунктов, рудников, аэродромов, дорог, нефте- и газопроводов, применение тяжелой техники — вездеходов, бульдозеров, тракторов и т.д., увеличение количества экспедиций и сопутствующий им рост пожаров — все это ведет к возрастанию площадей обезлесенных участков в северной тайге, проникновению безлесных тундроподобных участков на десятки и сотни километров на юг, т.е. способствует превращению северной тайги в лесотундру, а лесотундры — в безлесные тундроподобные территории. Если принять, что тундроподобные территории ежегодно будут увеличиваться на 1%, то через 30 лет безлесные площади на Севере возрастут на 150–200 тыс. км². Эти цифры — наименьшие из всех возможных, если учесть, что в окрестностях Мурманска в недавнем прошлом были сосновые редколесья; под Воркутой росли ели и березы, поселки Ныда, Дудинка тоже еще в недавнем прошлом были окружены редколесьями. В Норильске, расположенном в южной полосе геоботанической лесотундровой зоны, тундра начинается там, где кончаются улицы. При бережном отношении к лесам улицы могли бы упираться в леса.

Кустарниковые тундры тоже подвергаются разрушению. В течение тысячелетий в тундре и лесотундре такие растения, как карликовая береза, ольха, ива, можжевельник, береза извилистая, сосна, в больших количествах используются на бытовые нужды. Эти деревья и кустарники идут на изготовление нартов, ловушек, для зверей и птиц, шестов и т.д., но особенно много идет на топливо. И сейчас еще эти растения являются основным топливом для оленеводов. Ежегодно изымаемая масса кустарников в тундре и лесотундре составляет 2–4 ц/га. Истинный прирост фитомассы в южных кустарничковых и кустарниковых тундрах колеблется от 2 до 5 ц/га, а в лесотундровом березовом криволесье — от 5 до 9 ц/га. Таким образом, изымание фитомассы кустарников и деревьев на бытовые нужды практически соизмеримо с ее приростом. В местах, где сведены кустарники, формируются пятнистые тундры.

Другой группой растений, которые подвергаются сильному воздействию со стороны человека и особенно оленей, являются лишайники. На Севере сейчас имеется около 2 млн. 200 тыс. голов оленей. В зимнее время одному оленю в сутки требуется около 5 кг лишайников. Зима на Севере длится 8–9 месяцев (240–270 дней). Один олень за зиму съедает 1200–1350 кг ягеля, 2 200 000 оленей потребляют соответственно 2 880 000–3 240 000 т лишайников. Это большая масса, но она на огромных просторах северных

пастбищ восстанавливалась бы, если бы там соблюдались правила выпаса оленей. Отсутствие строгих пастбищеоборотов ведет к выбиванию кормов на оленьих пастбищах и прежде всего лишайников. Нередко допускаются перегрузки пастбищ, при которых стравливается до 30–50% лишайников. Нормальное же восстановление лишайников происходит лишь в том случае, когда ежегодно изымается не более 10% их запаса.

Все это ведет к делихинизации тундры, т.е. к деградации лишайников. В последние десятилетия делихинизация на Севере усиливается (пыль, сернистый газ, выхлопные газы, автотранспорт и т.д.). Исследованиями установлено, что мхи, прежде всего сфагновые, так же чувствительны к загрязнению воздуха, как и лишайники.

В тридцатые годы полагали, что строительство индустриальных центров на Севере (Норильск, Воркута и др.) приведет к похолоданию, потому что из-за пыли уменьшится прозрачность воздуха и приток солнечной радиации. Запыление воздуха действительно произошло, но одновременно произошло запыление снега, что привело к увеличению бесснежного периода на один-полтора месяца, повысило температуру поверхности почвы, а значит, и воздуха. В итоге температура воздуха в городах на 1,5–2,5° выше, чем в окружающих тундрах и редколесьях.

Запыление на Крайнем Севере ведет:

- к изменению теплообмена между воздухом и почвой, а это при наличии вечномерзлых грунтов обуславливает деформацию поверхности земли: проседание и образование западин, озер, бугорков пучения;

- к изменению растительного покрова. Известно, что при концентрации сернистого газа 0,3–0,4 мг/м³ такие растения, как сосна, кедр, ель, пихта, можжевельник, начинают отмирать. Концентрация окислов азота выше 0,09 мг/м³ считается губительной для хвойных лесов. Но особенно чувствительны к грязному воздуху лишайники и сфагновые мхи.

Необходимо учесть, что тепловые электростанции средней мощности выбрасывают в атмосферу сернистый газ, а сернистый газ способен в атмосферном воздухе превратиться в капельки раствора серной кислоты, которые повышают кислотность природных вод, что ведет к уменьшению количества лососевых рыб и других видов водных и наземных животных.

Загрязненный воздух увеличивает заболеваемость верхних дыхательных путей, отрицательно сказывается на здоровье и трудоспособности людей. В промышленных центрах в безветренную погоду происходит застаивание воздуха, холодный грязный воздух висит над городом. Самым эффективным способом борьбы с загрязнением воздуха является введение безотходной технологии с замкнутым циклом воздухоснабжения. Опыт показывает, что выигрыш от этого бывает очень большой: не болеют люди, промышленность получает дополнительное ценное сырье, не загрязняется среда.

Одним из механизмов природы, очищающим воздух, является ветер, сменяющий воздушные массы. Из этого следует, что промышленно-индустриальные объекты, выделяющие большое количество газов и пыли, нельзя строить в условиях антициклонального климата, особенно в центральной части Восточной Сибири. Нельзя строить подобные объекты в замкнутых непродуваемых горных котловинах. Промышленные предприятия и на-

селенные пункты необходимо размещать с учетом силы и направления ветров, их частоты и т.д.

Вечномерзлые грунты занимают примерно 25% всей суши земного шара и около 50% площади СССР. На вечномерзлых грунтах в отличие от талых происходят непрерывные изменения поверхности: оседания, провалы, пучения грунтов и их течения на склонах (солифлюкция). Эта подвижность и динамичность грунтов затрудняет хозяйственное освоение районов, где распространена вечная мерзлота.

Главной причиной развития термокарста является увеличение мощности сезонно-талого слоя, которое происходит в результате изменения теплового режима поверхностного слоя грунтов. Это изменение может вызваться двумя группами факторов. К первой группе относятся естественные: потепление климата, увеличение его континентальности и повышение летних температур, возрастание мощности снега. Ко второй — антропогенные, о которых будет сказано ниже.

Подземные льды в верхнем 50–100-метровом слое занимают до 50–70% общего объема грунтов, что составляет около 20 тыс. км³ только эвидентных (видимых) льдов. Протаивание льдов под действием естественных и антропогенных факторов ведет к образованию термокарстовых озер. В зоне вечномерзлых грунтов насчитывается более 2 млн. озер с общей площадью водной поверхности около 300 тыс. км². Большая часть из них — термокарстового происхождения. В некоторых тундровых и лесотундровых районах, особенно богатых подземными льдами (север Западной Сибири, равнинная территория от Омоя до Колымы и др.), озера занимают 30–50% поверхности. К югу их площадь убывает.

Термокарстовые озера — чрезвычайно динамичные образования, которые непрерывно перемещаются по равнинной территории с подземными льдами. Озерные воды, разрушая льдистые берега, неизбежно встречают на своем пути долины речек и ручьев, другие озерные котловины или просто понижения. В результате происходит или переливание вод озера в понижения или, напротив, пополнение озера водами вышерасположенного водоема. Хозяйственная деятельность, в результате которой уничтожается почвенно-растительный покров, изменяется альbedo поверхности от запыления, мульчирования, пожаров, способствует резкой интенсификации подвижек верхней части грунтов, и таким образом деятельность человека становится все более мощным фактором, влияющим на многолетнемерзлые грунты. В промышленных центрах и их окрестностях она превосходит даже силы природы (климатические колебания, потепления и т.п.), которые обуславливают образование термокарстовых озер, просадок, пучений. Именно поэтому П.Ф. Швецов (1970) отмечал, что человек в промышленно освоенных районах Субарктики изменил природу не за тысячи, а за 30 лет. Так, например, в окрестностях населенных пунктов в настоящее время скорость роста термокарстово-эрозионных оврагов составляет 15–30 м/г, глубина достигает 10–15 м, ширина — более 30 м, протяженность — 800–1000 м и больше. Нарушив условия теплообмена, человек резко активизировал и солифлюкционные процессы. В местах нарушений скорость течения грунтов может достигать до 5–7 м/с. Ничего подобного на вечномерзлых грунтах в допромышленный период не наблюдалось.

Ярким примером слабой научной осведомленности о природе Севера

является следующий факт. В 1946 г. была опубликована книга академика А.А. Григорьева "Субарктика", в которой он обобщил материал визуальных наблюдений по существу допромышленного освоения. В этой книге он писал, что вечная мерзлота консервирует рельеф, вообще ландшафты и препятствует их эрозионному расчленению, возникновению оврагов. Книга "Субарктика" без изменений в этой части была переиздана в избранных трудах А.А. Григорьева в 1970 г. Такого же мнения о законсервированности ландшафтов Севера придерживались гидрологи (Соколов, 1952). Поэтому многие работники-практики, осваивая Крайний Север, до недавнего времени считали ландшафты Севера устойчивыми, не поддающимися разрушению. Но последние десятилетия интенсивного промышленного освоения Севера показали, что именно вечномерзлые грунты с подземными льдами — наиболее неустойчивый и легко уязвимый компонент природных систем. Но подобные нарушения на вечномерзлых грунтах локальны: промышленное освоение Севера охватило пока лишь незначительную площадь. Вместе с тем известно, что более половины территории с вечномерзлыми грунтами занято нефтегазовыми, угольными и другими месторождениями полезных ископаемых. Поэтому в настоящее время идет процесс перемещения основных центров добывающей промышленности на Восток и Север в районы с вечномерзлыми грунтами.

В связи с созданием инфраструктуры в хозяйственный оборот будут вовлекаться огромные территории как в пределах месторождений полезных ископаемых (угольных, нефтегазовых, железорудных, медно-никелевых, золотonosных и др.), так и в пределах полос транспорта, особенно железных дорог. Поэтому необходимо уже сейчас начать разрабатывать комплекс мероприятий по предотвращению дальнейшей деформации поверхности Земли на вечномерзлых грунтах. Большую помощь в этом деле может оказать анализ крупномасштабных карт и аэрофотоснимков 20-30-летней давности. Вокруг промышленных центров в районе вечномерзлых грунтов гидросеть и рельеф изменены порой до неузнаваемости: на месте мелководных термокарстовых озер, спущенных по оврагам (образовавшимся по следам гусеничных вездеходов), в ряде мест возникли травяные болота; напротив, на месте осоково-пушицевой гундры нередко формируются термокарстовые озера; появилось много оврагов и водотоков там, где их не было 10—30 лет тому назад, и т.д.

Наблюдения показывают, что устойчивость северных экосистем прямо пропорциональна фитомассе (ее общему весу на единицу площади и ежегодному приросту) и обратно пропорциональна наличию подземных льдов. Экосистемы с малым количеством фитомассы неустойчивы, особенно на вечномерзлых грунтах с подземными льдами. Поэтому участки с обилием подземных льдов необходимо оставлять для ведения оленеводческо-промыслового хозяйства и не использовать в целях строительства промышленных объектов и населенных пунктов. В связи с этим надо отметить, что экосистемы кольского заполярного Севера, где нет многолетнемерзлых грунтов, более устойчивы, чем экосистемы восточных районов на таких же и более южных широтах, но на вечномерзлых грунтах.

Сейчас стало совершенно очевидным, что планирование хозяйственного освоения ресурсов должно сопровождаться одновременным планированием экологической инфраструктуры. Раньше этого не делалось — просто об

этом ничего не знали. Так, например, в тридцатые годы нашего столетия планировалась организация Лапландского государственного заповедника, а рядом с ним — комбината "Североникель". В настоящее время ясно, что заповедник, как эталон природы, не может функционировать по соседству с промышленным предприятием, на котором не внедрена безотходная технология. (Семенов-Тянь-Шанский, Крючков, 1980). То же самое можно сказать о территории Кандалакшского заповедника, которая расположена в нескольких километрах южнее Кандалакшского алюминиевого завода. Подобных примеров можно привести много.

Обобщение существующего материала приводит к выводу, что в истории взаимоотношений человека с природой Севера выделяется два периода. Первый — это накопление положительного и отрицательного опыта воздействия человека на природу Севера. Второй период — это период оптимизации взаимоотношений социалистического общества и природы на основе имеющегося опыта. Оба эти периода можно выделить применительно ко всей нашей стране в целом.

Примеров положительного воздействия человека на природу Севера или прекращения отрицательного влияния имеется довольно много. Но вместе с тем из-за небольшого опыта, недостатка знаний особенностей природы Севера положительное воздействие на нее не стало еще нормой. Систему природоохранных мероприятий нужно разрабатывать так, чтобы она стала составной частью общего процесса оптимизации взаимодействий социалистического общества и природы. Эта система должна включать в себя те мероприятия, которые уже проводятся, и те, которые нужно осуществить. Сделаем краткий обзор основных природоохранных мероприятий, необходимых для оптимизации взаимоотношений общества и природы на Севере.

Восстановление древесно-кустарниковых насаждений в полосе относительного безлесья тундры. Эта работа уже началась. Далеко не полный перечень населенных пунктов зоны Севера, где проводится озеленение, в том числе деревьями и кустарниками, приведен в таблице.

К сожалению, в этих населенных пунктах нет питомников по выращиванию посадочного материала, т.е. саженцев деревьев и кустарников, и растения для пересадки берутся из окрестностей городов и поселков. Для того чтобы эти работы стали более планомерными и организованными, необходимо создание питомников по выращиванию посадочного материала, а также методические рекомендации по агротехнике посадок и выращивания древесно-кустарниковых насаждений в населенных пунктах Севера.

Второе направление — создание зеленых лесопарковых зон вокруг северных городов. Есть положительный опыт и в этом направлении. Так, например, в 1980 г. принято решение о создании зеленой лесопарковой зоны вокруг Мурманска. Обязанность эта возложена на специально созданный лесхоз. В первую очередь подобные лесопарковые зоны должны быть созданы вокруг крупных промышленных центров Севера: Заполярного-Никеля, Мончегорска, Воркуты, Норильска —Талнаха, Билибино, Магадана. Восстановление лесов в полосе относительного безлесья тундры вряд ли нужно делать сплошным — оно должно быть очагово-функциональным, т.е. там, где нужно.

Таблица
Населенные пункты Севера, в которых проводится озеленение
(в том числе деревьями и кустарниками)

Населенный пункт	Природная зона, в которой находится населенный пункт	Примечание
1	2	3
пос. Никель г. Заполярный пос. Линахамари пос. Печенга пос. Сайда-губа	Тундра То же " " "	Полоса относительно-ного безлесия тундры в окрестностях этих населенных пунктов сформировалась уже в XX в. и продолжает расширяться
г. Мурманск пос. Териберка пос. Грениха г. Кировск	" " " Лесотундровое горное криволесье	Деревья в окрестностях уничтожены в результате вырубок, запыления, пожаров, вытаптывания, в результате чего формируется полоса относительного безлесия тундры в горах заполярья
г. Мончегорск	Северная тайга	В окрестностях города сформировались безлесные тундровоподобные пространства на площади около 1000 км ² ; они продолжают расширяться
г. Нарьян-Мар	Тундра	Полоса относительного безлесия тундры
пос. Халмер-Ю г. Воркута пос. Лабытнанги	То же " Лесотундровое редколесье	Полоса относительного безлесия тундры
г. Салехард пос. Яр-Сале пос. Ныда пос. Самбург г. Дудинка	То же " " " На границе лесотундры и северотазовых редкостойных лиственничных лесов	Деревья в окрестностях уничтожены в результате вырубок, пожаров, запыления, вытаптывания. Полоса относительного безлесия тундры
г. Норильск пос. Талмах пос. Хатанга	То же Лесотундровое лиственничное редколесье	Леса в окрестностях уничтожены. Полоса относительного безлесия
пос. Тикси	Типичная тундра	Есть положительный опыт озеленения деревьями и кустарниками. Необходимый минимум тепла для роста и развития деревьев и кустарников имеется

Таблица (окончание)

1	2	3
пос. Кулар	Северное лесотундровое редколесье	Полоса относительного безлесья тундры
пос. Казачье	То же	
пос. Черский	"	
пос. Билибино	"	
г. Анадырь	Тундра	То же
г. Магадан	Лесотундровое листовечно-кедрово-стланниковое горное редколесье	Лиственница и кедровый стланник в окрестностях города уничтожены. Сформировалась и продолжает расширяться полоса относительного безлесья тундры

Следующее направление — это создание лесокустарниковых полос, ограждающих сельскохозяйственные угодья: посевы кормовых трав, посадки картофеля, овощей. Подобные работы уже проводятся под Воркутой в совхозах "Горняк", "Центральный", в окрестностях городов Кировск, Апатиты, Салехард. Прибавка урожая сельскохозяйственных культур в местах, защищенных лесокустарниковыми полосами, довольно велика. Подобные же полосы и лесные острова необходимо создавать в местах отела оленей. Сохранность молодняка резко возрастает, если отел происходит в лесном, т.е. защищенном, участке. По-видимому, Главному управлению Севера при Министерстве сельского хозяйства РСФСР стоило бы обобщить имеющийся в этом направлении опыт, с тем чтобы возглавить и расширить работы по созданию лесополос вокруг сельскохозяйственных угодий и на оленьих пастбищах.

В тесной связи с восстановлением древесно-кустарниковых насаждений на Севере стоит вопрос о восстановлении уничтоженной растительности в кустарниковых и мохово-лишайниковых тундрах, являющихся пастбищами для северных оленей. Восстанавливать тундровые лишайники и кустарники сложно, опыт в этом деле крайне мал, к тому же лишайники дают малый прирост. Учитывая, что участки с выбитой растительностью приурочены обычно к оленьим пастбищам, а северные олени хорошо поедают траву не только летом, но и зимой (выкапывая ее из-под снега), — на выбитых местах необходимо высевать многолетние травы, т.е. производить залужение потравленных оленьих пастбищ. Травы дают огромную по сравнению с лишайниками зеленую массу кормов, и будут способствовать увеличению оленеемкости пастбищ. Опыты по залужению выбитых оленьих пастбищ проводились в Мурманской опытной оленеводческой станции Министерства сельского хозяйства РСФСР. Подобные работы целесообразно расширить не только на Мурманской станции, но и на других подобных станциях Севера.

Неотъемлемая часть оптимизации взаимоотношений общества и природы на Севере — это создание зеленых зон кормовых трав вокруг населенных пунктов, которые станут основой для развития молочного животно-

водства. К 2000 г. население Севера будет составлять около 9–10 млн. человек, для обеспечения которых мясомолочной продукцией необходимо около 2 млн. га пастбищ. Если к ним добавить пашни для выращивания овощей, то площадь необходимых сельскохозяйственных угодий нужно увеличить до 8–10 млн. га (80–100 тыс. км²), т.е. в 8–10 раз по сравнению с существующей. Это огромная площадь, но в то же время она составляет около 1% всей территории Севера. На остальной территории Севера должно развиваться оленеводство, охотничье-промысловое хозяйство, организованный туризм. Следующей группой мероприятий по оптимизации взаимодействий между обществом и природой в зоне Севера может быть организация системы охраняемых территорий, основой которых должны стать *заповедники* — эталоны природы. Положение о том, чтобы каждый физико-географический регион имел свой заповедник-эталон, будет неполным, если не создать *системы* охраняемых природных территорий. Только система охраняемых природных территорий, окружающих заповедник, предотвратит эффект ложноостровной ситуации. Природа заповедника, расположенного в антропогенной пустоши, обеднеет и не сможет быть ни эталоном природы, ни резерватом генетического фонда, ни экологическим противовесом промышленности.

Исследования показали, что заповедники Севера (тундры, лесотундры, горы Заполярья), для того чтобы быть саморегулируемыми экосистемами, должны быть крупными — не менее 10 тыс. км² (1 млн. га).

На Кольском Севере система охраняемых природных территорий включает следующие природные объекты. Во-первых, два уже существующих государственных заповедника — Лапландский и Кандалакшский. Общая площадь их 2193 км², что составляет около 1,5% территории Мурманской области. В соответствии с рекомендациями Кольского филиала АН СССР заповедники должны быть расширены до 10 тыс. км² (около 7% территории Мурманской области). Предложения по расширению заповедников не будут ограничивать развитие промышленности области. По-видимому, 7% под заповедники — это достаточная площадь, если учесть, что они должны быть хотя и основной, но все-таки частью системы охраняемых территорий.

Следующими в этой системе идут *заказники*. В настоящее время на Кольском Севере существуют два заказника: Общевидовой, Лосиный и Понойский государственный заказник для охраны редких и находящихся под угрозой исчезновения животных и растений с общей площадью около 1000 км². В систему охраняемых природных территорий должны быть включены еще 13 заказников, территория которых превысит 1500 км², в том числе ботанико-лесные территории вокруг Хибинских и Ловозерских горных массивов, лесные горно-долинные, которые будут способствовать сохранению горных заполярных лесов. Заказники должны охранять преимущественно отдельные компоненты природы — растительный покров, реки и озера, животный мир и т.д. Для животных и особенно птиц необходимо создавать зоны тишины на период их размножения и выращивания потомства.

Общая площадь заказников должна быть в несколько раз больше, чем заповедников. Но на Кольском Севере она не будет превышать 2% площади. Здесь из-за обилия промышленных узлов трудно организовать зоны тиши-

ны; на реках уже имеются или строятся ГЭС. Но малое количество территорий под заказниками компенсируется другими охраняемыми объектами, среди которых существенное место занимают притундровые защитные леса. Пока, к сожалению, эти леса охраняются плохо. Дело доходит до того, что в ряде мест производится их промышленная рубка с последующим оформлением и переводом их в леса III эксплуатационной группы.

В большинстве районов Севера, в том числе и в Кольском, южные тундры — антропогенно обусловленные. На Кольском Севере (Мурманская область) притундровые защитные леса составляют 30,4% территории. В других районах севера они занимают тоже довольно значительную площадь, протягиваясь полосой в 30–150 км в зависимости от местных условий. Со временем вся полоса притундровых защитных лесов от Кольского Севера до Чукотки должны быть выделена в ботанико-лесной государственный заказник со специальным штатом специалистов для исследования и охраны этих лесов.

Всем районам Севера, в том числе и Кольскому району, свойственна большая обводненность, а значит, большое количество рек и озер. В реках и озерах обычно водятся ценные деликатесные лососевые, осетровые и сиговые рыбы. Поэтому неотъемлемой частью сохранения полноводности и чистоты больших и малых рек и озер должны быть защитные полосы вдоль рек и вокруг озер шириной обычно от 500 м до 3 км.

Коэффициент густоты речной сети на Севере очень велик. Так, на Кольском Севере на 145 тыс. км² его территории число рек длиной более 10 км превышает 1000, а общая их протяженность около 26 тыс. км. Количество озер с площадью водного зеркала 1 км² и больше превышает 830, а с площадью 0,01 км² — около 12 тыс. Озера занимают 7% территории области. Примерно такой же густотой рек и озер обладают и другие районы Севера.

Защитные лесные полосы на Кольском севере выделены только вдоль 130 рек и вокруг 40 озер. И в соответствии с этим существующая площадь водоохранных лесных полос составляет сейчас около 6%. Система охраняемых территорий предусматривает организацию запретных лесных полос вокруг всех водоемов и вдоль всех рек. И тогда общая площадь этих охраняемых лесов, даже с вычетом тех, которые находятся в полосе притундровых защитных лесов, будет составлять около 40%.

Таким образом, притундровые защитные леса и запретные лесные полосы вокруг большого количества водоемов и рек тундры, лесотундры, тайги должны составлять основные массивы природных охраняемых территорий Севера. Существенна также роль лесных защитных полос вдоль железных и шоссейных дорог. На Кольском Севере в настоящее время эта категория защитных лесов не превышает 1%.

Зеленые зоны вокруг населенных пунктов — неотъемлемый и один из основных элементов оптимизации взаимоотношений человека и природы. Наши расчеты показали, что на Севере, где вегетационный период равняется всего 2–3 месяцам, площадь под зелеными растениями, которые могут обеспечить кислородом на год одного человека, должна равняться 500–600 м², а для северного города с населением 50 тыс. человек — 30 км², с населением 100 тыс. — 60 км² и т.д. В эти расчеты не включен расход кислорода промышленностью и транспортом. Если условно принять, что все двигатели внутреннего сгорания, промышленные объекты, отопительные

устройства поглощают в северном городе в 1 тыс. раз больше кислорода, чем его идет непосредственно на дыхание людей (в действительности эта цифра больше), то в этом случае площадь зеленых насаждений вокруг города с населением 50 тыс. человек должна быть не менее 30 тыс. км², т.е. радиус зеленой зоны составит примерно 100 км. Над таким биопромышленным комплексом баланс кислорода не будет отрицательным. В настоящее время между северными городами и поселками довольно большие пространства зеленых массивов и баланс кислорода в целом, безусловно, положительный. К 2000 г. население может увеличиться до 10 млн. человек, причем оно будет в основном городским. Если учесть так называемый промышленный коэффициент кислорода, о котором сказано выше, то площадь зеленых зон вокруг населенных пунктов с таким количеством населения будет равняться 6 млн. км², это более 55% всей территории Севера. Вместе с притундровыми защитными лесами и запретными водоохранными лесными полосами это составит 95% охраняемых природных территорий.

Следующая составная часть системы охраняемых природных территорий — это памятники природы: геологические, ботанико-лесные, гидрологические, природно-исторические и др. Обычно это уникальные или, напротив, типичные объекты природы, незначительные по площади. Роль памятников природы для Севера не оценена должным образом. Здесь ведь проходят северные рубежи жизни: граница лесов с уникальными и в то же время типичными лесными островками в тундре, деревцами-стланиками. Эти деревца-стланики как самые совершенные комплексные самописцы фиксируют условия среды в течение многих десятилетий и даже столетий. И в этом их большая значимость как памятников природы.

Север пересекают полярные ареалы животных с уникальными и одновременно типичными популяциями (розовая чайка, белый гусь и т.д.).

В зоне вечной мерзлоты распространены формы мерзлотного рельефа, нигде, кроме этих районов, не встречающиеся: булгуниахи, пятнистые тундры (типичные, природно, а не антропогенно обусловленные), мерзлотные полигоны, нетающие летом наледы и т.д.

На Кольском Севере сосредоточено более 700 разнообразных минералов. Хибинский и Ловозерский горные массивы — это феномены минерального мира. В настоящее время на Кольском Севере уже выделено и запланировано к выделению в ранг геологических памятников природы более 60 объектов — небольшие участки месторождений астрофиллитов, амазонитов, аметистов, пегматитовые жилы и т.д.

Велика роль природно-исторических памятников природы. Ведь неолитический уклад жизни в ряде районов Севера можно было отмечать еще около 100 лет тому назад и даже позже. Поэтому здесь от Кольского Севера до Чукотки распространены наскальные рисунки (петроглифы), культовые лабиринты и другие: природно-исторические объекты, рассказывающие о жизни неолитических охотников Севера и оленеводов. Эти неолитические эрмидажи необходимо сохранить для нас и других поколений. На Севере, где еще много дикой нетронутой природы, есть много районов, в которых можно организовать национальные природные парки.

Таким образом, оптимизация взаимоотношений общества и природы предусматривает, что охраняемые природные территории на Севере должны

занимать 90–95%. Анализ прогнозных документов и расчеты показали (Крючков, 1972), что площадь индустриальных очагов на Севере к 2000 г. и на более отдаленный период составит около 100 000–120 000 км² (1% всей территории Севера). Так что большие площади охраняемых территорий не только не будут препятствовать очаговому промышленному освоению Севера, но экологически уравновесят индустриальный пресс. На большей части охраняемых природных территорий возможна и необходима эксплуатация отдельных видов ресурсов: в реках и водоемах — рыболовство; в тундрах, притундровых защитных лесах, в запретных зонах вдоль рек и вокруг водоемов, в зеленых зонах вокруг населенных пунктов (в нескольких километрах от них) — регулируемое ведение охотничье-промыслового хозяйства, оленеводство, туризм и т.д. Подобный путь освоения Севера можно квалифицировать с хозяйственной точки зрения как индустриально-промыслово-олeneводческий, а с пространственной — как очагово-сплошной.

Существование пространств охраняемых природных территорий, а значит, и подобный тип эксплуатации биологических ресурсов возможны только в условиях чистого атмосферного воздуха. Анализ отечественной и зарубежной литературы показывает, что промышленный узел при плохо работающих очистных сооружениях может загрязнить акваторию северных водоемов, в 10–30 раз превышающую площадь самого промузла; загрязнение в реках распространяется на сотни километров от источника выбросов. Загрязнения, выбрасываемые в атмосферный воздух, могут захватывать территории, уже в 100–300 раз превышающие площадь самих промузлов, так как самоочищающая способность воздуха на порядок и даже более того ниже самоочищающей способности водоемов. Поэтому разработка предельно допустимых выбросов (ПДВ), предусмотренная Законом об охране атмосферного воздуха, с тем чтобы в окрестностях промузлов не были превышены предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ — очень своевременная и неотложная задача. К 1990 г. на подавляющем большинстве промышленных предприятий Севера в соответствии с решениями партии и правительства будут внедрены системы замкнутых водооборотов, что будет способствовать и улучшению окружающей природной среды и увеличению возможностей рыболовства.

Таковы некоторые основные проблемы охраны биосферы на Крайнем Севере.

Литература

- Григорьев А.А. Субарктика: (Опыт характеристики основных типов географической среды). — Избр. теорет. работы. М.: Наука, 1970, с. 16–42.
- Григорьев А.А. Субарктика. М.; Л.: Изд-во Наука, 1976, с. 172.
- Крючков В.В. Север: природа и человек. Перспективы освоения. М.: Наука, 1972. 128 с.
- Крючков В.В. Генеральная схема природоохранительных мероприятий на Кольском Севере как основа рационального природопользования. — В кн.: Состояние природной среды Кольского Севера и прогноз ее изменения. Апатиты, 1982, с. 6–18.
- Соколов А.А. Гидрография СССР. Л.: Гидрометиздат, 1952, с. 17–22.
- Швецов П.Ф. К плану исследований Субарктики для создания научных основ преобразования и прогноза изменений ее природы. — Изв. ВГО, 1970, № 5.

Современные проблемы биологии Центрального Арктического бассейна

И.А. Мельников

Изучение биологии Мирового океана органически включает знание биологии Северного Ледовитого океана — его структуры и особенностей функционирования всех элементов экосистемы пелагиали и бентали. Изучение этого океана и в особенности его глубоководной части — Центрального Арктического бассейна — представляет важный научный интерес для понимания места и роли этого водоема в современном балансе биосферы.

К сожалению, история советских гидробиологических исследований в этом бассейне сложилась самым неблагоприятным образом. После океанологических наблюдений П.П. Ширшова у Северного Полюса в 1937–1938 гг. за прошедшие 40 лет на дрейфующих станциях "Северный Полюс" не было выполнено ни одной комплексной гидробиологической программы, поэтому до сих пор биология Центрального Арктического бассейна остается одной из самых малоисследованных дисциплин.

Обзор отечественных и зарубежных гидробиологических работ, проводившихся в Центральной Арктике с прошлого века до 1974 г., показывает следующее.

1. Вне поля зрения биологических исследований остался такой важный элемент экосистемы пелагиали бассейна, как дрейфующий лед.

2. В отношении состава и распределения фитопланктона до сих пор, кроме материалов Ф. Нансена (Nansen, 1902) и П.П. Ширшова (1938), имеется одна работа, выполненная на дрейфующей станции "Арлис-2" (Kawamura, 1967); единственное измерение первичной продукции было проведено на станции Т-3 (Engli, 1959); данные по составу батометрического планктона и оценки первичной продукции в пограничном слое вода-лед отсутствуют вовсе; не изучались вопросы адаптации арктической флоры к низкому уровню освещенности, низкой температуре.

3. Основное внимание уделялось изучению состава и вертикального распределения зоопланктона. Был проведен возрастной анализ популяций, выяснены закономерности сезонных вертикальных миграций у доминирующих видов (Богоров, 1946; Бродский, Никитин, 1955; Виркетис, 1957; Гурьянова, 1957; Павштикс, 1971; Hardy et. al., 1936; Grainger, 1965; Johnson, 1963; Grice, 1962; Harding, 1966; и др.), однако количественная оценка распределения планктона не проводилась достаточно точно; наблюдения большей частью были кратковременными и не могли дать общей картины изменчивости распределения планктона; не были исследованы также суточные миграции планктона в условиях сезонной смены освещенности.

4. Совершенно недостаточен объем проведенных микробиологических исследований: была выполнена всего одна работа по учету гетеротрофных бактерий, растущих на питательных средах (Крисс, 1963).

5. Нет ни одной работы, посвященной изучению глубоководных рыб.

6. Аналогичная ситуация сложилась и с изучением бентоса: в глубоководной части Арктического бассейна траления проводились лишь на абис-

сальной равнине у Земли Франца-Иосифа и в Канадской котловине (Колтун, 1964; Горбунов, 1946; Menzies, 1963).

Таким образом, к настоящему времени имеется крайне мало данных о количественном составе и распределении основных компонентов экосистемы пелагиали и бентали бассейна. Многие наблюдения проводились непродолжительное время, нестандартными орудиями сбора проб, и в силу этого полученные результаты оказывались неполноценными или несравнимыми. Некоторые из применявшихся методик были далеки от совершенства. В итоге ряд общебиологических вопросов оказался неосвоенным. Это касается в первую очередь фито- и зоогеографии, экологии и физиологии криофильных организмов, системного изучения пелагиали бассейна, оценки продуктивности его сообществ.

В текущем десятилетии идет ориентация на освоение районов Крайнего Севера и Северо-Востока страны. На этом основании возрастает интерес к изучению полярных областей в связи с расширением использования природных богатств Севера, особенно с разработкой запасов нефти и газа на шельфе мелководных арктических морей. Отсутствие достоверных знаний о биологии Арктического бассейна может отрицательно сказаться на прогнозировании поведения ледовых ситуаций планктонных и бентосных сообществ, а также среды их обитания при загрязнении в результате разработок месторождений. Для составления точных прогнозов и рекомендаций, очевидно, нужны сведения обо всех элементах экосистемы Арктического бассейна. Поэтому необходимость их изучения диктуется не только чисто научными, но и народнохозяйственными потребностями.

Все существующие в настоящее время проблемы биологии в Арктическом бассейне можно свести в две большие группы: общенаучные и прикладные проблемы. Последняя группа включает проблемы народнохозяйственного и климатологического значения. Сюда следует отнести и проблему организации гидробиологических исследований в Арктике.

Первая проблема — общенаучного значения — возникла на почве слабой изученности биологии этого водоема, о которой говорилось выше. Основная цель в ее решении состоит в исследовании экосистемы как таковой, т. е. получение знаний о неизученной биологической среде. Получение таких знаний необходимо для организации контроля за естественными изменениями окружающей среды. Выделение антропогенных изменений состояния среды на фоне естественных представляет специфическую задачу. Это одна из самых серьезных современных биологических проблем, требующих немедленного решения.

Концентрирование усилий на изучении всех элементов экосистемы пелагиали и бентали Центрального Арктического бассейна имеет и другое общенаучное значение — накопление знаний для построения его рабочей биологической модели. Арктический бассейн имеет ряд достоинств перед бассейнами, не занятыми льдом, облегчающие задачу построения такой модели.

1. Весь бассейн находится в одной географической зоне, для которой характерно чередование полярного дня и полярной ночи. Этот факт существует с двух точек зрения: а) продукционной и б) миграций зоопланктона.

Отсутствие суточных биологических ритмов у одноклеточных водорослей, связанных со сменой освещенности (например, у водорослей в уме-

ренных широтах), облегчает задачу расчета баланса между продукцией и деструкцией органического вещества на первичных трофических уровнях экосистемы бассейна.

Отсутствие суточных вертикальных миграций животных — явления, характерного для умеренных и тропических широт, — также облегчает задачу моделирования процессов активного переноса органического вещества в пределах эвфотической зоны бассейна.

2. Постоянство температуры водных масс. В поверхностных арктических водах температура меняется в течение года не более чем на $0,2^{\circ}\text{C}$ (Русанов, 1980), в то время как температура воздуха изменяется от 0 до минус 50°C . Это постоянство температуры воды поддерживается саморегулирующейся системой — снежно-ледяным покровом, роль которого в этом бассейне можно сравнить в определенном смысле с ролью кожи у теплокровных животных.

3. Компактность океана: всего около 9 млн. км², что по площади более чем на порядок меньше любого другого океана. В этом бассейне хорошо изучен водообмен с другими океанами, изучены речной сток, геоморфология дна, гидрохимия водных масс, циркуляция вод и льда (Антонов, 1968; Гущенков, 1964; Zubov, 1945; Никифоров, Шпайхер, 1980; Русанов и др., 1979; Трещников, Баранов, 1972; и др.).

К перечисленным здесь достоинствам следует добавить и преимущества методики изучения этого бассейна: наличие снежно-ледяного покрова дает возможность для организации на его поверхности любого количества точек наблюдений. Это своего рода любое количество научно-исследовательских судов, которые можно сконцентрировать в любом пространстве в зависимости от целей и задач исследований. Это уникальная возможность для проведения одновременной мелко- и крупномасштабной съемки гидрохимических и гидрофизических полей, неравномерности распределения ледовых, планктонных и бентосных сообществ.

Суммируя сказанное по общенаучной проблеме, можно заключить, что для заполнения пробелов в знаниях по биологии Арктического бассейна нужны целенаправленные исследования всех классических разделов гидробиологии: планктона, нектона и бентоса. Их изучение — залог успеха в решении прикладных проблем биологии в этом бассейне. Переходим к их рассмотрению.

Первая проблема, имеющая народнохозяйственное значение, связана с освоением районов Крайнего Севера.

Рост перевозок по Северному морскому пути, освоение месторождений нефти и газа на шельфе мелководных арктических морей повышают потенциальную опасность роста концентраций загрязняющих веществ в водах и льдах. В настоящее время экспериментально показано, что сырая нефть и ее фракции влияют на двигательную активность беспозвоночных (Brodersen et al., 1977; Percy, Millin, 1977). Личинки арктических ракообразных более уязвимы для нефтяного загрязнения, чем ракообразные низких широт. При низких температурах увеличивается период личиночного развития и возрастает возможность их выедания животными других групп вследствие уменьшения подвижности личинок под влиянием фракций сырой нефти. Рядом экспериментов установлено, что при нефтяном загрязнении арктической биоты гибнут донные беспозвоночные (Atlas

et. al., 1978), резко падает численность амфипод в планктоне (Busdosh, Atlas, 1977). Последствия возможного разлива нефти будут сказываться на арктической экосистеме дольше, чем на любой другой в низких широтах, из-за малых скоростей регенерации нефтепродуктов в условиях низких температур.

Центральный Арктический бассейн непосредственно реагирует на проявление загрязнений, вследствие того что снежно-ледяной покров в этом океане дрейфует от периферии бассейна к его центру. Поэтому захваченные льдом у побережья загрязненные массы воды и льда будут вынесены в центр и должны там проявиться по всему маршруту дрейфа льда.

Для определения степени деградации экосистемы льда или любой другой арктической биоты следует проводить круглогодичный контроль за поведением всех элементов экосистемы пелагиали и бентали Центрального Арктического бассейна. Мерой нарушения ее стабильности могут служить изменения в круговороте биогенов, изменения величин и соотношений продукции и деструкции органического вещества, сдвиги в структуре и динамике популяций и биоценоза в целом. Эти характеристики можно широко использовать в экологическом мониторинге. Постановка таких наблюдений является первоочередной задачей современных гидробиологических исследований в Арктическом бассейне.

Вторая прикладная проблема имеет климатологическое значение. Чтобы оценить климат северного полушария, мы должны изучить тепловой баланс в высоких широтах, а также процессы, которые могут им управлять. На сегодняшний день наши знания об этих процессах довольно скромны и особенно о процессах в системе вода—лед—атмосфера. Здесь уместно упомянуть о проблеме CO_2 в Арктике.

Постоянное сжигание топлива, приводящее к накоплению аэрозолей, повышает общее содержание CO_2 в атмосфере. Увеличение его уровня должно приводить к глобальному нагреванию, оказывая эффект на изменение климатических условий, особенно на высоких географических широтах. За последнее столетие средняя температура на Земле возросла на $2-3^\circ\text{C}$, причем тенденция роста оказалась не везде одинаковой: у полюсов температура увеличилась в 3—4 раза выше температуры в тропиках (Washburn, 1980). Эти изменения температуры под влиянием роста CO_2 отражаются в первую очередь на состоянии снежно-ледяного покрова Центрального Арктического бассейна. Эффект CO_2 проявляется в том, что накопление углекислоты существенно уменьшает поглощаемую поверхностью снега и льда коротковолновую энергию. Каков механизм этого проявления?

В течение полярной ночи, когда лед покрыт снегом, CO_2 накапливается в снежном покрове и к весне, т. е. к началу полярного дня, углекислота в приледовом слое достигает высоких концентраций (Келли, 1980). В начале лета, когда температура воздуха достигает минус $15-20^\circ\text{C}$, под толстым слоем снега начинается фотосинтез. Исследования, выполненные автором на дрейфующих станциях СП-22 и СП-23 в 1975—1977 гг., показали, что в условиях высокой относительной влажности под снегом начинает развиваться криофильная снежная флора и потребление CO_2 в это время связано главным образом с фотосинтезом (Мельников, 1980). Как известно, каждая живая клетка — это своего рода тепловая батарея. При ее жиз-

недеятельности происходит частичная потеря тепла, которое поступает в окружающую клетку среду, т. е. тепло частично расходуется на нагревание среды. Вероятно, это одна из причин того, что в начале лета в Центральной Арктике при низкой температуре воздуха на поверхности дрейфующих льдов под снегом можно встретить первые очаги талой воды. Пробы, взятые из этих очагов таяния, показали о развитии в них большого количества одноклеточных водорослей.

Как этот процесс связан с проблемой CO_2 ? Рабочая гипотеза состоит в следующем.

Антропогенное увеличение концентрации CO_2 в аэрозолях, а затем в снежно-ледяном покрове способствует интенсификации процесса фотосинтеза, росту клеток криофилов и через них дополнительному поступлению тепла в окружающую среду. Отсюда следует, что рост концентрации антропогенного CO_2 приводит к неконтролируемому поступлению тепла биологической природы. Принимая во внимание, что процесс включения антропогенного CO_2 при фотосинтезе охватывает всю поверхность летних тающих льдов в Арктическом бассейне, можно говорить о масштабности этого явления и о его влиянии на климат северного полушария.

Задача предстоящих исследований в этом направлении состоит в оценке потока углекислоты через экологическую систему вода—лед—атмосфера.

Помимо перечисленных здесь важных проблем, связанных с изучением биологии Арктического бассейна, можно отметить и другие проблемы, имеющие специальный характер. Это, например, проблема высокой продуктивности у кромки дрейфующих льдов, а следовательно, это проблема промысла в этой зоне; проблема акклиматизации промысловых видов в условиях низкой температуры и длительных периодов освещенности и темноты; проблема навигации вдоль Северного морского пути, о которой еще писал П.П. Шишов в своей работе, посвященной планктону как индикатору ледового режима моря (Шишов, 1936), и другие проблемы. Для их решения необходимы знания по всем элементам экосистемы пелагиали и бентали Центрального Арктического бассейна.

Начиная с 1975 г. Институт океанологии им. П.П. Шишова АН СССР проводит сравнительно долговременные гидробиологические исследования на дрейфующих станциях "Северный Полюс" Арктического и Антарктического научно-исследовательского института. Всего на сей день проведено 8 экспедиций на СП-22, 23 и 24 в 1975—1981 гг. (Мельников, 1976а, б; Мельников, Циновский, 1978; Афанасьев, 1978; Мельников, 1978, 1980, 1981). Полученные в этих экспедициях материалы позволяют сделать следующие предварительные выводы.

Экосистема льда. Впервые арктический дрейфующий лед рассматривается как целостная экологическая система, в которой основной поток энергии направлен снизу вверх. Выявлены две характерные функции: лед как концентратор и переносчик веществ в пространстве и времени (Мельников, Павлов, 1978; Мельников, 1977) и лед как биологический субстрат (Мельников, 1980). Как для толщи, так и для обоих ледовых поверхностей (пограничные слои вода—лед, лед—атмосфера) характерно действия специфических физико-химических факторов. Для каждого выделенного биотопа отмечен различный состав флоры и фауны, в распределении которых наблюдается вертикальная зональность: в верхних слоях льда обитают главным

образом зеленые (Chlorophyta) и сине-зеленые (Cyanophyta) водоросли, а в нижних, пограничных ко льду слоях — эвпонтическая флора, представленная в основном диатомовыми водорослями (Diatomeae). Нижняя (морская) поверхность льда — зона развития криопелагического биоценоза. В его состав входят около 50 видов животных, среди которых доминируют *Gammarus Wilkitzk*, *Mysis Polaris*, *Apherusa glacialis*, *Pseudalibrotus nanseini* и др. Несмотря на подвижность и постоянную изменчивость субстрата, лед сохраняет постоянным состав обитающих в нем организмов. Продолжительность "жизни" экосистемы льда определяется временем его пребывания в водах Центрального Арктического бассейна: после выноса льда в Северную Атлантику происходит его таяние, все вещества и организмы поступают в воду и здесь включаются в пищевые сети бореальных сообществ.

Фитопланктон. Флору исследованного района составляют преимущественно диатомовые водоросли. Роль динофлагеллят, силикофлагеллят и синезеленых водорослей ничтожно мала. Всего определено 52 вида диатомей (Беляева, 1980). Число видов пennisных диатомей и центричных примерно одинаково. Среди первых доминируют виды родов *Navicula*, *Fragillaria*, а у последних — *Chaetoceros* и *Thalassiosira*. Интересно отметить, что из этой форры 7 видов центричных и 12 видов пennisных диатомовых водорослей были найдены в нижних слоях многолетнего льда. Максимальное развитие фитопланктона приходится на июль — август (биологическое лето в Арктике). Это время, когда сверху полностью стает снег и лед становится более прозрачным для проходящей сквозь него фотосинтетически активной радиации, необходимой для развития планктона.

Зоопланктон пелагиали представлен в основном каланидами, среди которых по биомассе доминируют два вида: *Calanus glacialis* и *Chyperboreus*. Кроме них, в состав планктона входят медузы (например, *Aeginopsis laurentii*), бокоплавы (*Gammarigae*), щитинкочелюстные (*Chaetognatha*), пелагические креветки (*Decapoda*), крылоногие моллюски (*Clione limacina* и *Limacina helicina*) и др. животные. Большинство планктеров зимуют в полярную ночь на глубине 100–900 м, а летом, когда начинается фотосинтез, вновь возвращаются к поверхности льда для откорма и размножения. Во время водолазных погружений на СП-23 летом 1977 г. удавалось неоднократно наблюдать массовые скопления каланисов (*C. glacialis* и *Chyperboreus*) у поверхности тающих многолетних льдов. Было установлено, что в полярный день эти два массовых вида планктона не совершают четких суточных вертикальных миграций (Мельников, 1976б; Кособокова, 1978) в условиях, когда отсутствует ритм в смене освещенности.

Пелагические и придонные рыбы. О пелагической фауне рыб Центрального Арктического бассейна было известно и ранее из отчетов полярников, дрейфовавших в районе Северного Полюса. Благодаря стараниям рыболовов-любителей было установлено, что подо льдом обитают два вида тресковых рыб: сайка, или полярная тресочка (*Boreagadus saida*), и ледовая, или черная треска (*Arctogadus glacialis*). Оба вида, конечно, неоднократно встречались в районе дрейфа СП-22, 23 и 24 в любое время года: при погружениях под лед постоянно можно было наблюдать среди кристал-

лов, формирующих рельеф нижней поверхности льда, как молодь, так и взрослых особей этих видов рыб. Большой неожиданностью оказалась поимка в непосредственной близости ото льда над глубинами 2,5 км двух экземпляров *Liparis koefoedi* — рыбы типично донной, имеющей специальную брюшную присоску для крепления к жесткому субстрату (например, к камням на дне). Вероятно, молодь этого вида проходит планктонную стадию развития или эти рыбы случайно захвачены течениями на шельфе и затем вынесены в глубоководную часть Арктического бассейна.

О фауне придонных рыб абиссали Центрального Арктического бассейна до сих пор ничего не было известно. Отсутствие сведений объясняется сложностью проведения глубоководных тралений с дрейфующего льда над большими глубинами. Летом 1977 г. на СП-23 за 25 тралений на глубинах около 3 км всего было поймано 2 экз. *Paraliparis bathybius*, а в ловах на ярус с приманкой лишь однажды удалось добыть один экз. *Lycodes frigidus* (Циновский, 1980). Оба вида были ранее известны по их нахождению в северных морях (Андрияшев, 1954), поэтому по нахождению этих рыб в околополюсном пространстве можно судить о широком распространении их по акватории Северного Ледовитого океана.

Бентос. Предварительный просмотр количественных проб, взятых дночерпателем с глубин 2600–3550 м на ложе Канадской котловины, показал низкие значения биомассы бентоса (около 0,04 г/м²), сравнимые со значениями для олиготрофных районов Тихого океана. В качественных (траловых) пробах было найдено около 40 видов донной макрофауны, относящихся к II классам (Афанасьев, Филатова, 1980). Выявлен высокий эндемизм фауны абиссали Канадской котловины, а по фауне полихет предполагается, что ранг арктической абиссали выше, чем любой из областей, и равен рангу абиссали Мирового океана в целом (Жирков, 1980).

Собранные в экспедициях материалы, несомненно, далеко не полностью отражают все многообразие явлений в пелагиали и бентали Центрального Арктического бассейна. Вместе с тем очевидно, что систематизированный материал и полученные на его основе результаты полезны, поскольку они позволяют более ясно представлять структуру и функционирование ледовых, планктонных и бентосных сообществ, населяющих высокие широты Арктики, а также наметить направления дальнейших исследований.

Анализ затраченных в проведенных экспедициях усилий и средств, а также объем полученного научного материала заставляет пересмотреть старый и оценить новый подход для более эффективного решения проблем биологии Арктического бассейна. Назрела необходимость в проведении кардинальных изменений в организации гидробиологических исследований в Арктике, т. е. перейти от энтузиазма исследователей-одиночек к планомерному и рациональному исследованию, основанному на единой план-программе и организации.

Важность высказанных выше проблем очевидна и их решение не должно замыкаться рамками одного учреждения страны. Решить эти проблемы можно общими усилиями, поэтому для выполнения неотложных биологических задач в Арктике следует искать новые формы организации исследований. Первым шагом в этом направлении должно быть следующее.

1. Заключение долгосрочного договора о научном сотрудничестве в Центральном Арктическом бассейне между ААНИИ и ИО АН СССР, по ко-

тому на каждой дрейфующей станции "Северный Полюс", в каждой высокоширотной экспедиции будут предусматриваться гидробиологические исследования.

2. Создание в одном из этих учреждений постоянно действующей экспедиции в рамках единой научной и организационной программы, охватывающей глобальные проблемы исследования экосистемы пелагиали и бентали Арктического бассейна.

Только такой подход и целенаправленные усилия организации обеспечат решение существующих биологических проблем в Центральном Арктическом бассейне.

Литература

- Андряшев А.П. Рыбы северных морей СССР. — Определители по фауне СССР. Л.: Изд-во АН СССР, 1954, № 53.
- Андряшев А.П., Мухомедияров Б.Ф., Павштукс Е.А. О массовых скоплениях криопелагических тресковых рыб (*Vareagadus saida*, *Arctogadus glacialis*) в околополюсных районах Арктик. 1980. В кн. Биология Центрального Арктического бассейна, М.: Наука.
- Антонов В.С. Природа движения вод и льдов Северного Ледовитого океана. — Тр. ААНИИ, 1968, т. 265.
- Афанасьев И.Ф. Исследования глубоководной донной фауны центральной части Северного Ледовитого океана. — Океанология, 1978, т. 18, вып. 5.
- Афанасьев И.Ф., Филатова З.А. К вопросу об исследованиях глубоководной донной фауны Канадской котловины Арктического бассейна. — В кн.: Биология Центрального Арктического бассейна. М.: Наука, 1980.
- Беляева Т.В. Фитопланктон района дрейфа станции "Северный Полюс-22". — В кн.: Биология Центрального Арктического бассейна. М.: Наука, 1980.
- Богоров В.Г. Зоопланктон по сборам экспедиции на л/п "Г. Седов" в 1937—40 гг. — В кн.: Тр. дрейфующей экспедиции Главсевморпути на л/п "Г. Седов", 1937—1940 гг. М.: Главсевморпуть, 1946.
- Бродский К.А., Никитин М.М. Гидробиологические работы. — В кн.: Материалы наблюдений научно-исследовательской дрейфующей станции 1950—1951 гг. Л.: Мор. транспорт, 1955, т. 1. с. 411—465.
- Виркетис М.А. Некоторые данные о зоопланктоне центральной части Арктического бассейна. — В кн.: Материалы наблюдений научно-исследовательских дрейфующих станций СП-3 и СП-4 1954—1955 гг. Л.: Мор. транспорт, 1957, т. 1.
- Горбунов Г.П. Донное население Новосибирского мелководья и центральной части Северного Ледовитого океана. — В кн.: Тр. дрейфующей экспедиции на л/п "Г. Седов", 1937—1940 гг. М.: Главсевморпуть, 1946.
- Гурьянова Е.Ф. К зоогеографии Арктического бассейна. — В кн.: Материалы наблюдений научно-исследовательских дрейфующих станций СП-3 и СП-4 в 1954—1955 гг. Л.: Мор. транспорт, 1957, т. 1.
- Гущенков Е.М. Распределение и метаморфизация вод в Арктическом бассейне. — Океанология, 1964, т. 4, вып. 1.
- Жирков И.А. К фауне полихет абиссали Канадской котловины. — В кн.: Биология Центрального Арктического бассейна. М.: Наука, 1980.
- Зубов Н.Н. Лыды Арктики. М.: Главсевморпуть, 1945.
- Келли Д. Фоновые уровни и биохимический цикл CO_2 в Арктике: требования к многосреднему мониторингу. — В кн.: Комплексный глобальный мониторинг: загрязнение окружающей природной среды. Л.: Гидрометеиздат, 1980.
- Колтун В.М. К изучению донной фауны Гренландского моря и центральной части Арктического бассейна. — Тр. ААНИИ, 1964, т. 259.
- Кособокова К.Н. Суточное вертикальное распределение *Calanus hyperboreus* Kroyer и *Calanus glacialis* Jaschnov в Центральном Полярном бассейне. — Океанология, 1978, т. 18, вып. 4.
- Крисс А.С. Количественное распределение бактериальной популяции в водах Тихого океана. — Океанология, 1963, т. 3, вып. 1.

- Мельников И.А. Гидробиологические исследования в центральной части Северного Ледовитого океана. — Океанология, 1976, т. 16, вып. 3.
- Мельников И.А. Гидробиологические исследования в центральной части Северного Ледовитого океана (весна 1976 г.). — Океанология, 1976б, т. 16, вып. 6.
- Мельников И.А. Гидробиологические исследования в Северном Ледовитом океане (весна 1978 г.). — Океанология, 1976, т. 18, вып. 6.
- Мельников И.А. Экосистема арктического дрейфующего льда. 1980. В кн.: Биология Центрального Арктического бассейна. М.: Наука, 1980.
- Мельников И.А. Гидробиологические исследования в Северном Ледовитом океане (СП-22, декабрь, 1979 — апрель 1980 г.). — Океанология, 1981, т. 21, вып. 2.
- Мельников И.А., Куликов А.С. Криопелагическая фауна Центрального Арктического бассейна. В кн. Биология Центрального Арктического бассейна. М., 1980, Наука.
- Мельников И.А., Павлов Г.Л. Особенности распределения органического углерода в водах и льдах Арктического бассейна. — Океанология, 1978, т. 18, вып. 2.
- Мельников И.А., Циновский В.Д. Гидробиологические исследования в Северном Ледовитом океане на СП-23 (май—октябрь 1977 г.). — Океанология, 1978, т. 18, вып. 2.
- Никифоров Е.Г., Шнайхер А.О. Закономерности формирования крупномасштабных колебаний гидрологического режима Северного Ледовитого океана, 1980. Л.: 1980. Гидрометеиздат.
- Павшук Е.А. О сезонных изменениях численности зоопланктона в районе Северного Полюса. — Докл. АН СССР, 1971, т. 196, № 2.
- Павшук Е.А. О некоторых закономерностях в жизни планктона Центрального Арктического бассейна, 1980. В кн.: Биология Центрального Арктического бассейна. М.: Наука, 1980.
- Русанов В.П. Гидрохимическая характеристика поверхностных вод Арктического бассейна. — В кн.: Биология Центрального Арктического бассейна. М.: Наука, 1980.
- Русанов В.П., Яковлев Н.И., Буйневич А.Г. Гидрохимический режим Северного Ледовитого океана. — Тр. АН СССР, 1979, т. 355.
- Трешников А.Ф., Баранов Г.И. Структура циркуляции вод Арктического бассейна. Л.: Гидрометеиздат, 1972.
- Циновский В.Д. К ихтиофауне глубоководных котловин Центрального Арктического бассейна. — В кн.: Биология Центрального Арктического бассейна. М.: Наука, 1980.
- Циновский В.Д., Мельников И.А. О нахождении *Liparis koefoedii* (Liparidae, Osteichthyes) в водах Центрального Арктического бассейна. М.: Наука, 1980.
- Ширшов П.П. Планктон, как индикатор ледового режима моря. — 1935. — Бюл. Аркт. ин-та, 1935, № 11.
- Ширшов П.П. Океанологические наблюдения. — Докл. АН СССР, 1938, т. 19, № 8.
- Atlas R.M., Horowitz A., Busdosh M. Prudhoe Crude oil in Arctic marine ice water and sediment ecosystems: degradation and interactions with microbial and benthic communities. — J. Fish. Res. Board Can., 1978, vol. 35, N 5.
- Brodersen C.C., Rice S.D., Short I.W. et al. Sensitivity of larval and adult alaskan shrimp and crabs to acute exposures of the water soluble fraction of Cook Inlet crude oil. — Oil spill Conf. Proc.: Prev., Behav., 1977.
- Busdosh M., Atlas R.M. Toxicity of oil slicks to arctic amphipods. — Arctic, 1977, vol. 30, N 2.
- English T.S. Some biological oceanographic observations in the central North Polar Sea drifting station "Alpha", 1957—1958. — Arct. Inst. N. Amer. Sci. Rept., 1961, vol. 15.
- Grainger H. Zooplankton from the Arctic ocean and adjacent Canadian waters. — J. Fish. Res. Board Can., 1965, vol. 22, N 2.
- Grice G.D. Copepods collected by the nuclear submarine "Seadragon" on a cruise to and from the North Pole, with remarks on their geographic distribution. — J. Mar. Res., 1962, vol. 20, N 1.
- Harding G.C.H. Zooplankton distribution in the Arctic ocean with the notes on life cycles: Master's Thesis. McGill univ., 1966.
- Hardy A., Farran G., Garstang W., Georgeson E. The arctic plankton collected by the Nautilus Exped. 1931. Parts 1—3. J. Linnean Soc. London. Zool., 1936, vol. 39, N 267.
- Johnson M.W. Zooplankton collected from the high Polar basin with special reference to the copepoda. Limnol. — Oceanogr, 1963, vol. 8, N 1.

- Kawamura A.* Observation of Phytoplankton in the Arctic ocean in 1964. — Inform. Bull. Plantol. Jap., 1967, Commemor. N Dr. J. Matsue's.
- Menzies R.J.* The abyssal fauna of the sea floor of the Arctic ocean. — In: Proc. Arct. Ocean Symp. Oct., 1962, 1963.
- Nansen F.* The oceanography of the North Polar basin. — Norw. North Polar Exped., 1893–1896, Sci. Results, vol. 2, N 9a.
- Percy J.A., Mullin T.C.* Effects of crude oil on the locomotory activity of Arctic marine invertebrates. — Mar. Pollut. Bull., 1977, vol. 8, N 2.
- Washburn A.L.* Focus on Polar Research. — Science, 1980, vol. 209, N 4457.

УДК 551.46/268)

Основные эколого-абиотические факторы Северного Ледовитого океана

В.П. Русанов

Арктическая зона — один из крупнейших регионов Советского Союза, освоение которого имеет первостепенное государственное значение. Важное место в жизни этого региона играет Северный Ледовитый океан (СЛО), включающий в себя глубоководную часть — Арктический бассейн и шельфовые арктические моря. Занимая всего около 3,6% площади Мирового океана, СЛО в силу своих физико-географических особенностей оказывает огромное влияние на атмосферные процессы и климатические условия на большей части территории не только нашей страны, но и всего северного полушария. Через него протекает самый короткий национальный морской путь между западными и восточными районами, который служит единственной магистралью для снабжения бурно развивающейся промышленности в центральных и северных районах Сибири. Кроме того, на арктических территориях сосредоточены запасы важнейших полезных ископаемых, являющихся базой для развития в ближайшем будущем на прилегающих к СЛО акваториях многоотраслевых территориально-промышленных комплексов (ТПК). Поэтому исследование природных условий и процессов на акватории СЛО имеет не только научное, но и практическое значение.

Особенно большое значение комплексная оценка природных условий СЛО приобретает в настоящее время. В принятых XXVI съездом КПСС "Основных направлениях экономического и социального развития СССР на 1981–1985 гг. и на период до 1990 г." предусматривается развитие крупнейших ТПК на арктических территориях, прилегающих к СЛО, освоение шельфа, мероприятия по перераспределению водных ресурсов северных и сибирских рек и превращение западного участка Северного морского пути в круглогодично действующую магистраль. Все это существенно увеличит антропогенные нагрузки на экосистемы СЛО и потребует осуществления ряда государственных социально-экономических правовых мероприятий, направленных на осуществление мер по усилению охраны морей, рек и других водоемов Арктического бассейна от загрязнения. Это ставит перед исследователями природы арктической зоны новые задачи:

— оценку современного состояния природного комплекса СЛО, как единого целого — экосистемы, сложившейся в своеобразных физико-географических условиях;

— разработку прогноза возможных изменений океанической экосистемы в условиях, когда хозяйственная деятельность человека становится мощным фактором воздействия на природу. При этом следует исходить из факта существования полярных экосистем в "жестких" условиях, что требует особого внимания к сохранению природной среды и особенно животного и растительного мира, развивающихся в условиях предельно неустойчивого равновесия.

В связи с этим возникает необходимость классификации основных экологических факторов СЛО и их роли в экосистеме в целом с целью выявления наиболее уязвимых звеньев экосистемы при возрастающих антропогенных нагрузках. Выявление наиболее уязвимых мест экосистемы позволит более целенаправленно осуществлять исследования и своевременно разрабатывать мероприятия, компенсирующие отрицательное воздействие хозяйственной деятельности человека на условия существования аквациенозов в арктических морях и Арктическом бассейне.

Своеобразие условий среды обитания (биотопа) и биоценозов СЛО как физико-географического объекта определяется в первую очередь его высокоширотным приполюсным положением, с которым связаны низкие температуры воды, наличие в большую часть года ледяного покрова, резкие контрасты в распределении солнечной радиации в периоды полярного дня и ночи и т. п. Несмотря на общность условий на большей части акватории СЛО, характеристики среды обитания и биоценозов Арктического бассейна и отдельных арктических морей имеют свои особенности, формирующиеся под влиянием комплекса региональных физико-географических факторов. Наиболее существенными из них являются различия в климатических условиях, рельефе дна, водообмене с материком и соседними морями и океанами, в образовании ледового покрова.

Огромное влияние на природные условия в СЛО оказывает водообмен с Атлантическим и Тихим океанами. Влияние теплых атлантических вод прослеживается на физических, химических и биологических характеристиках водных масс на большей части акватории Арктического бассейна и на режиме большинства арктических морей вплоть до Чукотского. Основные характеристики биотопа и биоценозов восточных арктических морей и Евразийского суббассейна Арктического бассейна в значительной мере определяются притоком сравнительно теплых вод тихоокеанского происхождения. На природные условия арктических морей существенное влияние оказывают речные воды, формирующие физический, химический и гидробиологический режим на значительной части акватории морей Карского, Лаптевых и Восточно-Сибирского.

Физико-географические особенности СЛО сказываются в первую очередь на гидрологических условиях, физических и химических свойствах среды обитания, под влиянием которых формировались своеобразные биоценозы. Учитывая, что влияние антропогенной деятельности человека на биоценозы будет проявляться главным образом через изменение характеристик среды обитания (за исключением прямого токсического воздействия при аварийных ситуациях), целесообразно в первую очередь выделить

и классифицировать абиотические факторы как элементы, определяющие условия существования биоценозов.

Абиотические факторы СЛО можно условно разделить на четыре большие группы. К факторам I порядка следует отнести факторы, формирующиеся мощными космическими и планетарными силами (тектоническими, вулканическими и т. п.). Для СЛО это прежде всего его географическое положение, определяемое наклоном земной оси и рельефом его дна. Эти факторы определяют как свойства и состояние биотопа, так и биоценоз СЛО в целом. Даже незначительные изменения этих факторов могут повлечь за собой коренную перестройку экосистемы вплоть до ее полной замены. Именно с географическим положением связаны не только основные климатические, гидрологические, физические, но и биологические отличия СЛО от других районов Мирового океана. Суровые климатические условия создают "жесткий" биотоп для существования биоценоза и определяют ряд его специфических особенностей — короткие трофические цепи, бедность видов, зависимость биоценозов от связей с другими океанами и т. п.

Особенно большую роль играет неравномерное по сезонам распределение солнечной радиации. Периодическое чередование длительного полярного дня и полярной ночи определяет специфику трофической структуры сообществ в арктических акваценозах. В отличие от сообществ морей низких широт, где уровень продукции достаточно постоянен, арктические биоценозы работают в ярко выраженном колебательном режиме. В летний период световая энергия является основой для возбуждения хлорофилла фитопланктона и регулятором фотохимических реакций. В арктических морях и в Арктическом бассейне фотосинтезированное органическое вещество (ОВ) служит основным фундаментом для построения всей продукционной системы, так как хемосинтез бактериальных клеток при низких температурах незначителен. Подавленность фотосинтетической деятельности первичных продуцентов в зимний период в арктических морях является прямым следствием длительного отсутствия света. Колебательный режим производства первичного ОВ вслед за фитопланктоном охватывает все уровни трофической цепи и является характернейшей особенностью арктических сообществ.

Общее состояние экосистемы в целом на современном этапе ее развития во многом связано с геологическим строением дна СЛО. Как дифференцирующий фактор рельеф дна наиболее полно сказывается на экологической обособленности двух суббассейнов, располагающихся по обе стороны хр. Ломоносова и существенно отличающихся как по свойствам, так и по составу биоценозов. Наличие глубоководных порогов со стороны Атлантики определяет структуру водных масс и их физические и химические свойства на большей части Евразийского суббассейна, а следовательно, и тип биоценоза в каждой структурной зоне океана. На биоценозы Евразийского суббассейна этот фактор оказывает и прямое влияние, проявляющееся в том, что большинство членов сообществ в западной части СЛО несут следы их явно атлантического происхождения почти на всех уровнях трофической цепи. Примерно такое же влияние оказывает на биотоп и биоценозы Американо-Евразийского суббассейна наличие Берингова пролива, через который поступают значительные массы вод тихоокеанского происхожде-

ния. С ареалом распространения тихоокеанских вод в Арктическом бассейне тесно связано преобладание в биоценозах Амеразийского суббассейна тихоокеанских видов (Павштикс, 1980).

Очень короткий период вегетации ОВ на акватории СЛО, ограниченные большую часть года пищевые ресурсы, низкие температуры верхнего слоя воды подо льдом, почти не изменяющиеся в течение года, долгая полярная ночь — все это создает экстремальные условия для существования членов биоценоза на последующих ступенях трофической цепи. Особенно суровые условия складываются зимой с наступлением полярной ночи и прекращением вегетационного периода. В это время основной пищей для планктонных организмов становится детрит, главным источником поступления которого в Арктический бассейн служат тихоокеанские и атлантические воды. Этой особенностью пищевой цепи вызваны, очевидно, сезонные миграции планктона в слой теплых атлантических вод (Павштикс, 1971а, 1980). Вертикальные миграции ракообразных на глубины в слой теплых богатых детритом атлантических вод способствуют сохранению популяций в условиях зимы при практически полном отсутствии производства ОВ.

Геологические изменения в рельефе дна приводят к полной смене биоценозов в СЛО и перестройке всей экосистемы. Палеогеографические исследования показывают (Гурьянова, 1970), что в течение геологической истории СЛО изменения рельефа дна неоднократно приводили к кардинальным перестройкам всей его экосистемы. Поднятие Фареро-Шотландского порога в прошлые геологические эпохи изменяло характеристики биотопа — структуру и характеристики водных масс, что приводило к практически полной перестройке биоценоза на всех уровнях. Этому же способствовало и прерывание прямой биологической связи с Атлантическим океаном. Опускание порогов, напротив, повышало температуру воды, уровень ее минерализации и так далее и способствовало смене характера биоценозов в сторону их приближения к североатлантическим. Точно так же появление Берингова пролива привело к глобальной перестройке всей структуры водных масс и системы их циркуляции, формированию своеобразных гидрологических и гидрохимических условий, определивших структуру и состав биоценозов Амеразийского суббассейна на основе северотихоокеанских видов.

Факторы I порядка являются решающими в формировании свойств биотопа и биоценозов СЛО, а следовательно, и всей экосистемы в целом. Обратные связи экосистемы СЛО с факторами I порядка отсутствуют или выражены крайне слабо. Например, в результате биогенной и хемогенной сидементации происходит незначительное изменение структуры дна океана. Однако эти изменения происходят в течение длительного геологического промежутка и не могут оказать существенного воздействия на направленность действия этих факторов.

Следует подчеркнуть, что на современном этапе научно-технической революции антропогенное воздействие человека на экосистему СЛО может быть сравнимо по масштабам с воздействием факторов I порядка. Уже в настоящее время существуют технические предпосылки для уничтожения ледового покрова на всей акватории СЛО. Связанные с этим изменения характеристик поверхностного слоя вод Арктического бассейна и арктических морей приведет к коренной перестройке биоценозов на их

акватории и формированию практически новой экосистемы. Однако, если действие природных факторов I порядка носит объективный, не целенаправленный характер, то антропогенный фактор субъективен и его воздействие на любую экосистему, в том числе и на СЛО, должно определяться целесообразностью заранее рассчитанных последствий.

Факторы II порядка являются следствием воздействия на рассматриваемый регион факторов I порядка и формируются ими. К ним следует отнести гидрологический, метеорологический, гидрохимический и ледовый режим СЛО, которые определяют основные физические и химические характеристики среды обитания. Поскольку особенности гидрометеорологического, гидрохимического и ледового режима Арктического бассейна и арктических морей определяются, главным образом влиянием одних и тех же причин, характернейшая особенность факторов II порядка — тесная взаимосвязь происходящих в них изменений. Любые изменения в структуре водных масс, их динамическом состоянии, в системе течения неизбежно отражаются на состоянии метеорологического режима над его акваторией, на ледовом режиме и гидрохимической структуре вод. В свою очередь климатические изменения или изменения в состоянии ледового покрова будут влиять на физические характеристики в первую очередь поверхностного слоя вод океана, его термическое и динамическое состояние, а следовательно, на весь гидрологический режим в целом. Таким образом, вся система океан—ледовый покров—атмосфера, составляющая среду обитания, находится в состоянии динамического равновесия, нарушения которого определяются изменением и направленностью воздействия факторов I порядка.

Важнейшую роль в формировании характеристик биотопа СЛО играет гидрологический режим, который определяет физические характеристики среды обитания и процессы механического переноса и перераспределения вещества и энергии в экосистеме. Основные параметры гидрологического режима Арктического бассейна и арктических морей — структура и генезис водных масс, система их циркуляции и протекающие в них физико-динамические процессы в настоящее время изучены достаточно подробно (Трешников, Баранов, 1972; Никифоров, 1980). Решающими факторами формирования гидрологического режима СЛО являются количество и сезонное распределение солнечного тепла, водообмен с соседними океанами и рельеф дна. Формирующиеся под их влиянием гидрологические особенности и физические характеристики водных масс в различных частях СЛО определяют не только горизонтальный и вертикальный перенос вещества и энергии в биотопе, но также ареалы распространения, горизонтальное и вертикальное перераспределение основного продуцента ОВ — фитопланктона и его основного потребителя — зоопланктона (Павштик, 1980), а следовательно, количественный и качественный состав биоценозов практически на всех уровнях трофической цепи.

Гидрологический режим во многом формирует и гидрохимическую структуру водных масс в СЛО, т. е. распределение основных питательных веществ, которые служат основой для производства ОВ на первом уровне трофической цепи биоценозов. Тесная взаимосвязь гидрологического и гидрохимического режимов арктического бассейна и арктических морей и идентичность формирующих их факторов изучена достаточно подробно

(Русанов и др., 1979). Прямым следствием зависимости гидрохимической структуры вод СЛО от гидрологического режима является важная экологическая особенность его гидрохимического режима — отсутствие на большей части его акватории дефицита питательных веществ в наиболее биологически продуктивном поверхностном слое океана. В Арктическом бассейне постоянный уровень питательных веществ поддерживается поступлением из соседних океанов и высокой динамичностью вод, а в арктических морях их основным источником служит материковый сток. Следует, однако, подчеркнуть, что в изучении гидрохимического режима не только центральной части Арктического бассейна, но и арктических морей имеется много "белых пятен". Это касается, в частности, изученности режима и распределения таких важнейших элементов, как минеральные формы азота — нитраты и нитриты, органического азота, фосфора и углерода, с содержанием которых тесно связана продуктивность океана по ОВ на первом трофическом уровне.

Специфическим для СЛО экологическим факторам, оказывающим большое влияние на формирование характеристик среды обитания и состав биоценозов в поверхностном слое океана, является ледовый покров. В первую очередь лед в арктических морях и особенно в Арктическом бассейне служит основным регулятором интенсивности поступающей солнечной радиации и ее спектрального состава, с которыми тесно связаны сроки начала вегетационного периода, его интенсивность и продолжительность. Общая солнечная радиация зависит от его толщины, состояния нижней и верхней поверхности льда и снежного покрова. С началом летнего периода по мере таяния снежного покрова и льдов сверху возрастает не только интенсивность проникающей солнечной радиации, но и изменяется ее спектральный состав. В период максимального таяния льдов создаются наиболее благоприятные условия для прохождения света в желто-зеленой области спектра, которому соответствует максимум поглощения у хлорофилла и каротиноидов. Именно для этого периода характерна максимальная биомасса ОВ в Арктическом бассейне. Примерно к этому же периоду приурочены наибольшая биомасса второго звена трофической цепи — зоопланктона (Мельников, 1980).

Снежно-ледовый покров служит термоизолирующим слоем, благодаря которому поддерживается относительное постоянство температуры поверхностных вод на большей части акватории Арктического бассейна, где сезонный температурный градиент не превышает $0,2^{\circ}\text{C}$. Благодаря этому создаются оптимальные условия для развития зоопланктона, среди которого преобладают stenothermic виды. Велика роль дрейфующих льдов и в переносе органических и минеральных веществ из одних районов СЛО в другие. Общая система дрейфа льдов направлена из Американо-Азиатского суббассейна через его центральные районы в Евразийский суббассейн. Содержание биогенных элементов в восточных районах за счет влияния тихоокеанских вод значительно выше, чем в западных, и образующиеся здесь льды также имеют их повышенное содержание (Русанов, 1974, 1975). При дрейфе этих льдов через центральные районы и Евразийский суббассейн и их таянии в летний период происходит обогащение биогенными элементами поверхностных вод, что, очевидно, является одной из причин отсутствия дефицита питательных солей в этих районах даже в периоды

наибольшей активности вегетационных процессов. Такой же процесс характерен для арктических морей, где высокое содержание биогенных веществ поддерживается мощным речным стоком. Учитывая большую площадь, занимаемую высокопродуктивными мелководными арктическими морями, поступающие отсюда дрейфующие льды являются существенными дополнительными источниками органических и биогенных веществ для сообществ пелагиали Арктического бассейна (Мельников, 1980).

Экологическая значимость ледового покрова проявляется в непосредственном влиянии и на состав биоценозов в поверхностном слое океана. Исследования последних лет показали, что снежно-ледовый покров Центральной Арктики представляет собой сложный не только физико-химический, но и биологический комплекс со своеобразным составом крио- и гидробионтов (Мельников, 1980). Оказалось, что на морской границе льдов обитают планктонные водоросли, которые служат источником ОВ для существования около 50 видов животных. Кроме того, перенос включенных в ледовую толщу клеток водорослей и криофауны, обитающей на морской поверхности дрейфующих льдов, можно рассматривать как фактор расселения криобионтов по акватории СЛО.

Необходимо отметить роль дрейфующих льдов как специфического экологического фактора в условиях возрастающих антропогенных нагрузок на СЛО. Лед, обладая высокой сорбционной активностью по отношению ко многим загрязняющим веществам, выступает, с одной стороны, как фактор, способствующий самоочищению арктических морей, а с другой — способствует переносу загрязняющих веществ на большие расстояния от основных очагов их поступления.

В целом совокупность факторов второго порядка определяет физические и химические свойства среды обитания, а следовательно, и тип биоценоза. В основном изменение их характеристик оказывает прямое воздействие на состав биологических сообществ, приуроченных к определенным термохалинным и гидрохимическим структурам вод. Обратные связи биоценозов по отношению к этим факторам выражены более отчетливо, чем для факторов первого порядка. Биологическая деятельность на гидрометеорологический режим влияет в очень незначительной степени, но она оказывает существенное влияние на ледовый и особенно гидрохимический режим, который может претерпеть существенные изменения при смене биоценозов. Так, вегетация некоторых видов снежной флоры начинается уже при температурах воздуха минус 10–15°C (Мельников, 1980). Абсорбируя солнечную радиацию, развивающиеся водоросли трансформируют ее в тепло и таким образом способствуют процессу разрушения снежно-ледового покрова и изменению его физических свойств и химического состава. Биологическая деятельность существенно меняет газовый состав поверхностных вод океана и приводит к перераспределению минеральных и органических веществ не только в поверхностном слое, но и по всей его глубине, вплоть до донных отложений.

В соответствии с системой связей того или иного фактора с биоценозом определяется и его роль для биологических объектов и степень их адаптации к изменениям его характеристик. Большинство гидробионтов СЛО могут приспосабливаться к изменениям гидрологического и гидрометеорологического режима в довольно широком диапазоне, так как эти изме-

нения происходят в довольно длительном интервале, достаточном для адаптации. К изменениям гидрохимического режима все члены сообщества, как правило, более чувствительны на всех уровнях трофической цепи. Недостаток биогенных веществ, например, прекращает рост и размножение фитопланктона и таким образом оказывает отрицательное воздействие на функционирование всей трофической цепи биоценоза. Даже незначительные изменения в содержании кислорода и концентрации водородных ионов (рН) оказывают угнетающее действие на рыб, прямо влияют на размножение, т. е. бьют по основным функциям деятельности популяции.

Изменение характеристик большинства факторов второго порядка происходит медленно, а система сложившихся прямых и обратных связей стремится поддерживать весь биотоп в состоянии устойчивого равновесия. Это приводит к тому, что изменение этих факторов не приводит к гибели биоценозов, а только к их смене, так как времени хватает, чтобы виды выработали защитные реакции и сумели приспособиться к изменившимся условиям. Наименее консервативным и наиболее уязвимым среди факторов II порядка является гидрохимический режим, характеристики которого могут претерпеть существенные изменения при антропогенном воздействии.

К факторам III порядка следует отнести отдельные элементы режимов, характеризующие факторы второго порядка. Они могут быть разделены на две группы — факторы, существенно влияющие на существование и развитие членов биологического сообщества, но не изменяющиеся под их воздействием, и факторы, характеристики которых могут претерпевать существенные изменения в результате деятельности биоценоза. В первую группу входят главным образом элементы гидрологического и метеорологического режимов, а во вторую большинство элементов гидрохимического режима и некоторые характеристики ледового покрова.

Из факторов первой группы прежде всего следует выделить распределение температуры воды на акватории Арктического бассейна и арктических морей, определяющей многие особенности биологических, физико-химических и биохимических процессов в СЛО. Характерные для Арктического бассейна низкие температуры воды в биологически активном поверхностном слое и незначительный диапазон их межгодовой и межсезонной изменчивости определяет относительную бедность видового состава на всех уровнях трофической цепи и значительный процент эндемичных видов. Существенные зонные изменения температуры воды в арктических морях являются одной из причин не только более богатого видового состава биоценозов, но и их более высокой продуктивности по сравнению с Арктическим бассейном.

В условиях низких среднегодовых температур воды сформировалась одна из важнейших особенностей существования биоценозов на акватории СЛО в первом звене их трофических цепей — производстве ОВ, которое является фундаментом для построения всей продукционной системы. В более умеренных и южных частях Мирового океана существенную долю в производстве первичного ОВ составляет хемосинтез его бактериальными клетками. Поскольку активность микрофлоры связана с температурой нелинейной зависимостью и резко падает даже при незначительном ее уменьшении, то в экосистемах СЛО "детритная" пищевая цепь практи-

чески отсутствует. В этой части Мирового океана ОВ производится главным образом за счет фотосинтетической деятельности одноклеточных и многоклеточных водорослей, способных к температурной адаптации в довольно широком диапазоне. Кроме того, низкие температуры замедляют физико-химические и биохимические процессы деструкции ОВ, что увеличивает возможность его многократного использования в трофической цепи и создает благоприятные условия для поддержания высокой продуктивности на всех ее уровнях.

При низких температурах воды существенно снижаются темпы обмена веществ у зоопланктона и, следовательно, скорость выедания им фитопланктона. Замедление темпа жизни гетеротрофов при низких температурах приводит к тому, что метаболизм в арктических водных экосистемах в целом сдвигается в сторону автотрофного обмена. Это обеспечивает высокую удельную продуктивность фитопланктона, которая в арктических морях, например, в 5–30 раз выше, чем для морей умеренных и низких широт.

Таким образом, распределение температуры воды на акватории СЛО является одним из важнейших экологических факторов, который определяет многие характеристики как биотопа — вертикальную динамику вод и обмен питательными веществами между водными массами, состояние ледового покрова, содержание в воде растворенных газов и т. п., так и биоценозовой состав организмов и ареалы их распространения, темпы обмена веществ и соотношение видов в различных звеньях трофической цепи, скорость и особенности производства и деструкции ОВ и т. д.

Среди факторов второй группы установлена экологическая значимость наиболее хорошо изученных элементов гидрохимического режима СЛО — биогенных элементов (минеральные формы азота, фосфора и кремния), растворенных в воде газов (в первую очередь кислорода) и концентрации водородных ионов (рН). Биогенные элементы являются необходимым условием для синтеза ОВ всеми автотрофными организмами, лежащими в основе пищевой цепи. Роль биогенных элементов в формировании первичной продукции СЛО сравнительно с другими районами Мирового океана существенно возрастает, так как ввиду незначительной производительности микрофлоры основной для гидробионтов является "пастбищная" цепь, в основе которой лежит фотосинтез. Можно отметить следующие особенности в режиме биогенных элементов в СЛО:

- отсутствие дефицита даже в период максимального развития фотосинтетических процессов, связанное с наличием постоянных источников их поступления — в Арктический бассейн и восточные арктические моря с тихоокеанскими водами, а в западные моря с речным стоком.

- отчетливо выраженную зависимость распределения в биологически активном слое от межсезонных и межгодовых изменений в интенсивности водообмена с соседними океанами и объемов речного стока. Это позволяет эффективно использовать распределение биогенных элементов для характеристики гидрологических процессов при решении многих проблем поллярной океанографии (Русанов и др., 1972, 1976, 1979).

- отсутствие отчетливо выраженного возрастания их содержания с глубиной и накопления в донных водах, характерного для большей части глубоководных районов других океанов. С одной стороны, это связано

с высокой горизонтальной динамичностью водных масс, а с другой — с длительным периодом детритного питания зоопланктона зимой, исключаящего опускание органических остатков в нижние слои с их последующей деструкцией до минеральных форм.

— большая роль среди биогенных элементов принадлежит соединениям кремния, необходимого для развития самого многочисленного в СЛО представителя первичных продуцентов ОВ — диатомового фитопланктона.

Следует однако подчеркнуть, что тесная связь распределения биогенных элементов в Арктическом бассейне и арктических морях с гидрологическими процессами создает и определенные трудности при изучении их круговорота в биологическом и биохимическом цикле продуцирования и деструкции органического вещества и требует специальных комплексных наблюдений.

Из растворенных газов важную роль в жизни первичных продуцентов играет растворенный CO_2 , служащий основным источником углерода при синтезе ОВ. Помимо этого, содержание растворенного CO_2 определяет состояние и соотношение элементов карбонатной системы в водах океана и концентрацию водородных ионов (рН) среды. Окисление веществ кислородом при дыхании и перенос электронов в фотосинтетической цепи сопряжены с выбросом ионов водорода из цитоплазмы в наружную среду. Энергия, первично аккумулируемая в виде разности электрохимических потенциалов ионов водорода, в дальнейшем используется для синтеза АТФ (аденозинтрифосфата), являющегося универсальным химическим источником энергии в клетке. Поэтому на изменения концентрации водородных ионов (рН), определяемой парциальным давлением CO_2 , чутко реагируют гидробионты на всех уровнях трофической цепи, поскольку с нею связан их энергетический баланс на клеточном уровне. К сожалению, не только поведение гидробионтов СЛО в зависимости от содержания CO_2 рН среды, но даже само распределение этих характеристик по акватории океана остаются наименее изученным вопросом гидрохимии.

Более детально изучен кислородный режим Арктического бассейна и арктических морей. Для вод СЛО характерно высокое абсолютное содержание в них растворенного кислорода, что определяется прежде всего хорошо развитым водообменом, высокой растворимостью кислорода в воде при низких температурах и незначительным его расходом на окислительные процессы. С высоким содержанием кислорода в арктических водоемах связана одна из практически важных особенностей населяющих их сообществ — большинство обитающих здесь рыб относится к наиболее ценным в промысловом значении видам (сиговым и лососевым). На уменьшение содержания растворенного в воде кислорода, сопровождающегося повышением парциального давления CO_2 и снижением рН среды, как правило, чутко реагируют все члены сообщества. В первую очередь снижается двигательная и пищевая активность рыб, что приводит к быстрому возрастанию биомассы зоопланктона и соответственно уменьшению биомассы быстро выедаемого фитопланктона. При этом уменьшается потребление биогенов и возрастает их содержание в воде и одновременно углубляется дефицит кислорода, так как уменьшается его выделение в воду при фотосинтезе. Таким образом, вся экосистема реагирует на изменение любого из факторов этой группы, при этом количественные изменения происходят и в биотопе и в биоценозе.

В заключение следует сказать, что возрастание антропогенных нагрузок на СЛО в результате активизации хозяйственной деятельности на прилегающих акваториях прежде всего проявляется в изменении характеристик факторов III порядка, особенно из второй группы. Поступающие в водную среду загрязняющие вещества, особенно нефтепродукты, существенно изменяют тепловой баланс поверхностных вод, их химический и газовый состав. Эти изменения "бьют" по самым чувствительным местам сообществ — влияют на скорость размножения и роста первичных продуцентов ОВ, снижают двигательную активность беспозвоночных и пищевую активность рыб и т. д. При этом следует иметь в виду, что последствия загрязнения водной среды будут сказываться на арктической экосистеме гораздо дольше, чем в низких широтах из-за малых скоростей разложения загрязняющих веществ при низких температурах.

Таким образом, из всего многообразия факторов, определяющих состояние среды обитания сообществ в СЛО, наиболее важную экологическую значимость имеют факторы III порядка. В то же время они наиболее уязвимое звено биотопа при возрастании антропогенных нагрузок на водную среду. Для выявления возможных качественных и количественных изменений характеристик арктической биоты и прогноза этих изменений на длительный промежуток времени с учетом объема антропогенных нагрузок следует в ближайшем будущем организовать круглогодичный контроль этих факторов в арктических морях. Организация таких наблюдений совместно с комплексом гидробиологических наблюдений станет основой организации экологического мониторинга на акватории Северного Ледовитого океана.

Литература

- Гурьянова Е.Ф. Особенности фауны Северного Ледовитого океана и их значение для понимания истории ее формирования. — В кн.: Северный Ледовитый океан и его побережье в кайнозое. Л.: Гидрометеиздат, 1970, с. 126–161.
- Мельников И.А. Экосистема арктического дрейфующего льда. — В кн.: Биология Центрального Арктического бассейна. М.: Наука, 1980, с. 61–97.
- Никифоров Е.Г., Шнайхер А.О. Закономерности формирования крупномасштабных колебаний гидрологического режима Северного Ледовитого океана. Л.: Гидрометеиздат, 1980. 269 с.
- Павштик Е.А. О сезонных изменениях численности зоопланктона в районе Северного полюса. — Докл. АН СССР, 1971, т. 196, вып. 2, с. 441–444.
- Павштик Е.А. О некоторых закономерностях в жизни планктона Центрального Арктического бассейна. — В кн.: Биология Центрального Арктического бассейна. М.: Наука, 1980, с. 142–154.
- Русанов В.П., Беляков Л.Н. Формирование вод тихоокеанской прослойки на шельфе Чукотского моря. — Тр. ААНИИ, 1972, т. 306, с. 78–83.
- Русанов В.П. Кремний как индикатор тихоокеанских вод в Северном Ледовитом океане. — В кн.: Химико-океанографические исследования морей и океанов. М.: Наука, 1975, с. 181–186.
- Русанов В.П., Васильев А.Н. Распределение речных вод в Карском море по данным гидрохимических определений. — Тр. ААНИИ, 1976, с. 188–196.
- Русанов В.П., Яковлев Н.И., Буйневич А.Г. Гидрохимический режим Северного Ледовитого океана. — Тр. ААНИИ, 1979, т. 355, 144 с.
- Русанов В.П. Распределение кремния в поверхностных водах Арктического бассейна в зимний период. — В кн.: Океанология. М.: Наука, 1974, т. 17, вып. 5, с. 823–830.
- Трешников Л.Ф., Баранов Г.И. Структура циркуляции вод Арктического бассейна. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 157 с.

Происхождение и некоторые закономерности распределения экосистем верхних отделов шельфа Северного Ледовитого океана

А.Н. Голиков, В.Г. Аверинцев, О.А. Скарлато

Шельф Полярного бассейна с каждым годом привлекает все более пристальное внимание исследователей всего мира. Это связано не только с возможностью получения органических и неорганических ресурсов, имеющих на шельфе Северного Ледовитого океана, но и с большим теоретическим интересом к его изучению. Дело в том, что экосистемы шельфа Северного Ледовитого океана оказываются наиболее молодыми в масштабах геологического времени в Мировом океане (Dunbar, 1960, 1968, 1972; и др.) и изучение их структуры дает ключи к пониманию направления развития жизни на всей планете. Действительно, возраст самых первых самобытных для арктических экосистем видов не превышает самого позднего плиоцена и раннего плейстоцена (Голиков, 1963, 1980; Golikov, Tzvetkova, 1972; и др.).

Основу для этих видов составили флоро-фаунистические комплексы, сформировавшиеся к этому времени в северных частях Тихого и Атлантического океанов. Формирование арктических экосистем происходило под влиянием развивающегося похолодания. Первыми из видов, входящих в собственно арктические экосистемы, произошли в самом конце плиоцена бореально-арктические виды, широко расселившиеся в Полярном бассейне во время еще существовавшей тогда морской трансгрессии. Большинство этих видов произошло в самой северной части Тихого океана. В начале плейстоцена на фоне мощного вулканизма и образования глубоких впадин в Полярном бассейне произошла мощная регрессия, прекратившая доступ северного атлантического течения и тихоокеанских вод в Полярный бассейн. Это и в особенности препятствие поступления теплых североатлантических вод в Северный Ледовитый океан послужило, по-видимому, одной из важнейших причин мощного оледенения в плейстоцене. В условиях оледенения при постоянных отрицательных температурах все проникшие ранее в Северный Ледовитый океан виды должны были погибнуть, освободив экологические ниши более эврибионтным бореально-арктическим видам. От этих видов, как тихоокеанских (более часто), так и атлантических (реже) по происхождению, произошли арктические виды — эндемики Полярного бассейна. При этом уже тогда, как предположила еще в 50-х годах Е.Ф. Гурьянова, в районе хр. Ломоносова существовало препятствие для циркулярного распространения арктических видов. Восточный и Западный типы ареалов арктических видов в Полярном бассейне существуют и сейчас из-за естественных преград, в существенной степени связанных с опреснением. В результате последовавшей за первым мощным оледенением трансгрессии были залиты низины крупных рек Европы, Азии и Америки, впадающих в Полярный бассейн. В это время в зоне смешения высокоарктических и подпертых морс-

кими водами речных вод образовалась эстуарно-арктическая водная масса. Эта водная масса индуцировала возникновение эстуарно-арктического комплекса видов, отличающегося большей, чем высокоарктические виды, эвригалинностью и широко расселившегося во время трансгрессии. В настоящее время большая часть видов этого комплекса имеет интерзональное распространение.

Очевидно, что наибольшее преимущество в образовании основы арктических экосистем получили бореально-арктические виды, которые из-за отсутствия конкурентов, способных выносить круглый год отрицательные температуры, наиболее широко использовали свободные биотопы, а виды образовавшиеся позже, должны были входить в сложившиеся биоценозы путем коадаптации с лидирующей формой или включаясь в незанятые экологические ниши.

Теоретически ожидаемая картина четко реализуется в структуре современных биоценозов верхних отделов шельфа Арктики. В большинстве экосистем по числу видов, по биомассе и другим биоэнергетически значимым показателям существенно доминируют широко распространенные бореально-арктические виды, первые заселившие Полярный бассейн в условиях, приближающихся к современным. Это подтверждается и анализом вертикального распределения как качественного состава видов, так и образуемых ими биомасс. Преимущественно арктические и атлантические по происхождению виды преобладают лишь в отдельных расположенных пятнами донных биоценозах. Высокоарктические виды сумели занять лидирующее положение лишь в специфичных криорелагических ледовых биоценозах и в ряде участков у ледников.

Для рассмотрения особенностей современного распределения арктических экосистем необходимы количественные данные по соотношению в них видов различного происхождения, по их количественной структуре. Однако таких данных, кроме сведений по отдельным видам в монографиях, посвященных фауне и систематике различных групп животных и растений, относительно немного. Отдельные работы по количественному распределению жизни в Северном Ледовитом океане посвящены главным образом низкоарктическим водам (Броцкая, 1930; Идельсон, 1931; Броцкая и Зенкевич, 1932; Thorson, 1933; 1936; Sparck 1933; Пергамент, 1944; Филатова и Зенкевич, 1957; и др.).

Распределение биоценозов теснейшим образом связано с физикохимическим режимом вод. В районах со сплошным ледовым покровом весь год водоросли на верхних отделах шельфа отсутствуют, а на нижней поверхности паковых льдов развиваются криопелагические биобиоценозы с доминированием в конце лета водорослей *Acrosiphonia sonderi* и бокоплавов *Apherusa glacialis* и *Gammarus wilkitzkii*. На литорали, круглый год покрытой льдом, обнаружены биоценозы с доминированием *Gammarus setosus*, обозначенные нами как криолиторальные. В участках, освобождающихся летом от сплошного льда, более или менее развит водорослевый покров со специфичными фитофильными видами животных. В местах с сильным прибоем, препятствующим ледообразованию, и у стенок ледников, где целостность ледового покрова часто нарушается образующимися айсбергами, освещенность грунта летом сравнительно велика и водорослевый покров развит достаточно мощно.

У мысов с сильными течениями и в лагунах, где из-за летнего прогрева льда нет 1,5–2 месяца, водорослевый покров хорошо развит. Интересно отметить, что крупные млекопитающие высокой Арктики — белые медведи и моржи придерживаются в период движения льдов высокоарктической водной массы и находятся над донными биоценозами с холодноводными доминирующими формами. Очевидно, что разнообразие и состав преобладающих систематических групп в том или ином районе в сильнейшей степени зависят от локальных особенностей биотопов и в первую очередь от характера грунта, степени подвижности вод, освещенности и других факторов. Однако если судить не только по разнообразию, но и по количественному развитию, в общих чертах западный сектор Арктики может быть назван царством гидроидов, актиний, мягких кораллов и двустворчатых моллюсков рода *Musculus*, район Новосибирских островов в эстуарно-арктических водах — царством изопод рода *Meridothea*, двустворчатых моллюсков рода *Portlandia* и асцидий рода *Molgula*, а район западной части Чукотского моря — царством бокоплавов и мшанок. Во всех районах преимущественное развитие получают роды и виды тех высших систематических категорий, которые произошли в холодные периоды развития планеты (Голиков, 1975).

В высокоарктических водах таксономическое разнообразие значительно больше, чем в эстуарно-арктических, и на одинаковых грунтах сопоставимо в различных участках Полярного бассейна.

Трофическая структура изученных биоценозов в западном секторе Полярного бассейна характеризуется преобладанием фильтраторов и сестонофагов, относительная роль которых несколько снижается в тех районах высоких широт, которые освобождаются летом ото льда и богаты водорослями. Обращает на себя внимание сопоставимое количество в биоценозах хищников и сапрофитов, с одной стороны, и детритофагов — с другой. Это свидетельствует о тесных трофических связях хищников с детритофагами. Ту же самую закономерность можно наблюдать и в других районах Арктики, в частности у Новосибирских островов. Роль детритофагов заметно возрастает в эстуарно-арктических водах. Анализ вертикального распределения трофических групп свидетельствует о резком возрастании с глубиной роли фильтратов и сестонофагов, что объясняется возрастающей ролью приносного взвешенного вещества в трофических цепях бентоса.

Любопытные закономерности выявляются при анализе распределения жизни в эстуарно-арктических и высоко-арктических водах в зависимости от солёности. Число видов в районах преобладания эстуарно-арктических вод максимально при солёности около $16^0/00$ (в районе так называемой границы Зернова между морской эврагиальной и солоноватоводной фаунами; увеличение числа видов может объясняться совместным обитанием видов обоих комплексов в пограничных условиях). В районах преобладания высокоарктической водной массы число видов возрастает по мере повышения солёности. Что касается биомассы, то она наоборот, минимальна при солёности $16^0/00$ из-за снижения биоэнергетических возможностей видов обоих комплексов и максимальна в высокоарктических водах при солёности около $24^0/00$ (так называемая граница Книповича, характеризующаяся градиентом плотности и границей распределения эврагиальной и стеногагиальной морских фаун). Вертикальное распределение биоценозов

и их генетических и биоэнергетически значимых характеристик в существенной мере зависит от физико-химических свойств водных масс и положения их слоев и от ледового режима. Число видов в высокоарктических водах западного сектора Арктики быстро возрастает с глубиной и достигает в участках, освобождающихся летом ото льда, значительных величин (более 100). В районе Новосибирских островов наблюдается снижение числа видов на пороговых глубинах около 10 м, разделяющих эстуарно-арктическую и высокоарктическую водные массы, а глубже число видов быстро возрастает. У о-ва Врангель и в проливе Де-Лонга, несмотря на увеличение числа тихоокеанских по происхождению видов, общее видовое богатство снижено, а максимальное число видов обнаружено в прогреваемой летом мелководной бухте Роджерса. Биомасса в западном секторе Арктики быстро увеличивается с глубиной и достигает в среднем более 400 г/м^2 . У Новосибирских островов биомасса также возрастает с глубиной, а глубже 10 м удерживается на стабильном, меньшем, чем у Земли Франца-Иосифа уровне (в среднем около $200\text{--}260 \text{ г/м}^2$). У о-ва Врангель биомасса сильно колеблется, но наибольшей оказывается в прогреваемых водах на глубине 4–8 м, в среднем составляя немногим более 70 г/м^2 . Таким образом, наблюдается закономерный процесс снижения биомассы с запада на восток и в обследованной части Чукотского моря биомасса оказалась даже более низкой, чем в распресненных водах у Новосибирских островов. Плотность поселений, так же как и биомасса, возрастает с увеличением глубины. Однако в отличие от общей закономерности распределения биомассы плотность поселений имеет тенденцию не к уменьшению, а к увеличению с запада на восток и от высокоарктических вод к эстуарно-арктическим.

Траты на обмен макробентоса в зависимости от глубины имеют то же распределение, что и биомасса. В западном секторе Арктики у биоценозов участков, освобождающихся летом ото льда, они составляют в среднем 38 кал/м^2 в час, а у биоценозов участков, весь год покрытых сплошным льдом, — 18 кал/м^2 в час. У Новосибирских островов траты на обмен макробентоса снижаются в высокоарктических водах в среднем до 16 кал/м^2 в час, а в эстуарно-арктических — до 9 кал/м^2 в час.

Данные о количественном распределении мейобентоса показывают существенную роль этой систематической и экологической группы бентоса в арктических экосистемах. Действительно, по числу систематических групп мейобентос не уступает макробентосу, а по плотности поселений в десятки и сотни тысяч раз более многочисленен, так что макробентос нередко занимает менее 1% от общей численности биоценоза. Доля биомассы мейобентоса в биоценозах в существенной степени зависит от степени развития макробентоса. В тех биоценозах, где макробентос богат, биомасса мейобентоса занимает не более 6–15% от их суммарной биомассы. Однако там, где биомасса макробентоса мала, возрастает относительная и общая роль мейобентоса, виды которого могут занимать лидирующее положение в биоценозах. Например, на глубинах Карского моря доминирующая роль в экосистеме переходит к фораминиферам — одним из первых акцепторов приносного органического вещества. Еще большую роль благодаря малым размерам и высокой численности играет мейобентос в метаболизме биоценозов, а в экстремальных

условиях (например, в высокоарктических водах, весь год покрытых льдом, и в эстуарноарктических водах) занимает по этому показателю лидирующее положение. Интересно выравнивание трат на обмен в разных участках, по-видимому, в результате занятия организмами мейобентоса незанятых макробентосом экологических ниш. Обсуждаемое явление представляет отражением одной из сторон более общего важного принципа компенсации биоценологических функций одних структурных элементов экосистемы другими, проявляющегося на разных уровнях организации экосистем. В каждом районе выравнивание трат на обмен происходит на своем уровне. В западном секторе Полярного бассейна в высокоарктических водах траты на обмен в 2 раза выше, чем у Новосибирских островов и у о-ва Врангель, но увеличение доли мейобентоса в экстремальных условиях сопоставимо. По интенсивности метаболизма в высокоарктических водах мейобентос занимает более 90% от суммарной интенсивности метаболизма биоценозов.

Значительно большие траты биомассы на обмен и интенсивность метаболизма в высокоарктических водах, чем в эстуарно-арктических, свидетельствуют о существенно большей биоэнергетической мощности даже обедненных океанических вод, чем речных, включая великие сибирские реки.

Изложенный материал показывает, что в Северном Ледовитом океане происходит закономерное снижение с запада на восток и от высокоарктических вод к эстуарно-арктическим всех важнейших биоэнергетических значимых показателей. Это свидетельствует о решающей роли в современном количественном развитии жизни северного Полярного бассейна североатлантических вод, несущих биогенные элементы и взвешенное и растворенное органическое вещество, в избытке продуцирующееся на верхних отделах шельфа в умеренных широтах. Наиболее активными акцепторами приносимого вещества оказываются фильтраторы и организмы мейобентоса, получающие преимущественное развитие в наиболее суровых условиях Арктики.

Литература

- Броцкая В.А. Материалы по количественному учету фауны Стурфиорда (Восточный Шпицберген). — Тр. Мор. науч. ин-та, 1930, т. 4, вып. 1, с. 49–61.
- Броцкая В.А., Зелкевич Л.А. Материалы по количественному изучению донной фауны Баренцева, Белого и Карского морей. 6. Количественное изучение донной фауны Чешской губы. — Тр. Гос. океаногр. ин-та, 1932, с. 53–57.
- Голиков А.Н. Брюхоногие моллюски рода *Neptunea* Bolten. — В кн.: Фауна СССР, № 85: Моллюски. М.; Л., 1963, т. 5, вып. 1, 183 с.
- Голиков А.Н. О параллелизме и конвергенции в эволюции морских экосистем. Биология шельфа. — В кн.: Тез. докл. всесоюз. конф. Владивосток, 1975, с. 30–31.
- Голиков А.Н. Моллюски Висципинае Мирового океана. — В кн.: Фауна СССР. № 121: Моллюски. Л., 1980, т. 5, вып. 2, 465 с.
- Голиков А.Н., Аверинцев В.Г., Шереметевский А.М. и др. Некоторые закономерности распределения жизни на Новосибирском мелководье и в сопредельных водах. — В кн.: Отчетная сес. Зоол. ин-та АН СССР по итогам работ, 1973. М.: Наука, 1974, с. 12–13.
- Голиков А.Н., Люлев В.И., Новиков О.К. и др. Некоторые закономерности распределения жизни на верхних отделах шельфа острова Врангеля и мыса Шмидта. — В кн.: Морфология, систематика и эволюция животных. Л.: Наука, 1978, с. 11–12.
- Голиков А.Н., Скарлато О.А. Гидробиологические исследования в зал. Посыета с применением водолазной техники. — Исслед. фауны морей, 1965, т. 3 (11), с. 5–21.

- Идельсон М.С. Материалы по количественному изучению донной фауны Шпицбергенской банки (Баренцево море). — Тр. Мор. научн. ин-та, 1931, т. 5, вып. 1, с. 27–46.
- Пегамент Т.С. Бентос Карского моря. — В кн.: Проблемы Арктики, 1944, № 1, с. 102–133.
- Филатова З.А., Зенкевич Л.А. Количественное распределение донной фауны в Карском море. — Тр. Всесоюз. гидробиол. о-ва, 1957, т. 8, с. 3–67.
- Dunbar M.J. The evolution of stability in marine environments. Natural selection at the level of the ecosystem. — Amer. Natur., 1960, V. 94:875, p. 129–136.
- Dunbar M.J. Ecological development in Polar regions: a study in evolution. (N.J.), 1968, 119 p.
- Dunbar M.J. The nature and definition of the marine subarctic, with a note on the sea-life area of the Atlantic salmon. — Trans. Roy. Soc. Can. Ser. I, II, III, 1972, vol. 10, p. 249–257.
- Golikov A.N., Averincev V.G. Distribution patterns of benthic and ice biocoenoses in the high latitudes of the polar basin and their part in the biological structure of the world ocean. "Polar oceans". — Arct. Inst. N. Amer., 1977, p. 331–364.
- Golikov A.N., Scarlato O.A. Ecology of bottom biocoenoses in Possjet bay (Sea of Japan) and the peculiarities of their distribution in connection with physical and chemical conditions of their habitat. — Helgoländ. Wiss. Meeresuntersuch., 1967, Bd. 15, S. 193–201.
- Golikov A.N., Scarlato O.A. Comparative characteristics of some ecosystems of the upper regions of the shelf in tropical, temperate and Arctic waters. — Helgoländ. Wiss. Meeresuntersuch., 1972, Bd. 24, S. 219–234.
- Golikov A.N., Zvetkova N.L. The ecological principle of evolutionary reconstruction as illustrated by marine animals. — Mar. Biol., 1972, vol. 14(1), p. 1–10.
- Spärck R. Contribution to the animal ecology of the Franz Josef fjord and adjacent East Greenland waters. — Medd. Gronland, 1933, vol. 100 (1), p. 1–38.
- Thorson G. Investigations on shallow waters animal communities in Franz Josef fjord (East Greenland) and adjacent waters. — Medd. Gronland, 1933, vol. 100 (2), p. 1–70.
- Thorson G. The larval development, growth and metabolism of Arctic marine bottom invertebrates compared with those of other seas. — Medd. Gronland, 1936, vol. 100 (6), p. 1–55.

УДК 511:52 (98)

Роль гидрометеорологических и гидрохимических факторов в формировании устьевых экосистем Севера

В.В. Иванов, В.П. Русанов, Г.Н. Сузюмова, В.А. Янкина

Устьевые области крупных рек представляют собой переходную зону от реки к морю, где происходит взаимодействие и смешение речных и морских вод. Они являются экотонами между пресноводными и морскими местообитаниями, но их основные признаки являются не промежуточными, а уникальными.

По классификации Г. Одума (1972), устьевые области рек арктической зоны относятся к естественным арктическим экосистемам с ледовым стрессом. Наиболее отчетливо выраженными лимитирующими факторами здесь являются свет, доступный в большинстве случаев только во время очень короткого летнего сезона, низкая температура воды, лед, направление и скорость течений.

Кроме того, необходимо отметить, что некоторые виды искусственно-го загрязнения, в первую очередь нефть (которая в условиях низких температур имеет устойчивость к самоочищению), могут резко исказить характер теплообмена между акваторией и атмосферой в арктической устьевой области.

Солоноватые воды эстуариев классифицируются как олиго-, мезо- и полигалинные. Однако соленность в любом данном месте изменяется в течение дня, месяца, года, и обитающие здесь организмы должны обладать широким диапазоном толерантности (т.е. быть эвригалинными и эвритермными). Несмотря на то, что физические условия в устьевых областях рек часто бывают напряженными и видовое разнообразие соответственно низким, трофические условия благоприятны и этот район наполнен жизнью. Устьевые области принадлежат к важному классу экосистем с колеблющимся уровнем воды. В экосистемах этого класса более или менее регулярные, но резкие физические возмущения, поступающие извне, могут поддерживать экосистему на некоторой промежуточной стадии развития, порождая "компромисс" между молодостью и зрелостью. Устьевые области остаются на ранних относительно плодородных стадиях благодаря приливам и стонно-нагонным явлениям, поставляющим энергию для быстрого круговорота биогенных веществ. Однако импульсная стабильность действует только в том случае, когда сообщество в целом (не только растения, но и животные и микроорганизмы) адаптировано к некоторой определенной интенсивности и частоте возмущений. Адаптация требует времени, измеряемого по эволюционной шкале. Поэтому попытки приспособить естественные адаптированные экосистемы к хозяйственным нуждам дадут лучшие результаты, чем их полная переделка. Эти общие положения следует учитывать при рассмотрении абиотической части экотона и особенно при исследовании его влияния на биоту.

Один из основных вопросов современной экологии — развитие исследований в области моделирования продуцированных процессов. В связи с этим возникает необходимость разработки эколого-физиологических параметров, подбор физиологических, биохимических показателей, а также гидрометеорологических и гидрохимических критериев, наиболее правильно отражающих взаимосвязи организмов и среды, позволяющие находить оптимальные решения народнохозяйственных задач.

Вопрос этот становится тем более актуальным, что антропогенные воздействия переводят (или готовы перевести) ранее неуправляемые входы в экосистему в раздел управляемых. Такие крупные водохозяйственные мероприятия и развитие нефтепромыслов на Севере могут исказить как гидрологический (скорости течения, температура воды), так и гидрохимический режимы на замыкающем створе реки и, следовательно, во всей устьевой области. Поскольку эти характеристики являются входами в одну из наиболее продуктивных экосистем Севера — экосистему устьевой области, перед гидрологами всталá задача — оценить роль гидрометеорологических и гидрохимических факторов в формировании устьевых экосистем Севера.

Характер устьевых экосистем арктической зоны можно проследить на примере устьевой области р. Оби. Высокоширотное положение этой устьевой области определяет низкие средние годовые температуры воды и свя-

занную с этим низкую интенсивность физико-химических и биохимических процессов, а также наличие большую часть года на поверхности водоемов сплошного ледяного покрова. Важной особенностью гидрологического и гидрохимического режимов является сложное взаимодействие материковых и морских вод на акватории устьевой области.

Гидрометеорологический режим Обь-Тазовской устьевой области характеризуется, во-первых, превалирующим влиянием стока р. Оби. Водный, тепловой и твердый сток Оби обуславливают формирование режима уровней и расходов, температур и наносов на замыкающем створе реки в г. Салехарде. Эти элементы гидрологического режима в основном и определяют физические характеристики среды обитания водных экосистем.

Вторым по важности фактором формирования гидрологического режима Обь-Тазовской устьевой области является гидрологический режим Карского моря. Динамика вод и термохалинная структура моря оказывают влияние на режим уровней, течений и термохалинную структуру вод Обской губы. Метеорологический режим Обь-Тазовской устьевой области влияет на процессы, происходящие на акватории, прямо — через ветер, давление, температуру воздуха и косвенно — через формирование боковой приточности в Обскую губу. Он зависит от микроклиматических особенностей территории и от процессов, протекающих в атмосфере над Карским морем и его побережья. Наиболее важны для водной экосистемы следующие элементы метеорежима:

- температура воздуха, обуславливающая интенсивность и направленность теплообмена акватория—атмосфера;
- облачность, определяющая степень проникновения света в водную толщу;
- ветер, его скорость и направление, от которых зависят поля уровней и течений.

Под влиянием перечисленных факторов (речного стока, гидрологического режима моря и метеорологического режима устьевой области) формируется межгодовая и сезонная изменчивость физических характеристик среды обитания водных экосистем устьевой области. Кроме того, имеет большое значение изменчивость этих физических характеристик в масштабе синоптических колебаний. Диапазон изменений элементов режима от одного естественного гидрологического периода к другому сравним по величине с межгодовой и сезонной изменчивостью. В Обской губе (так же как и в Карском море) выделены периоды колебания элементов, равные по продолжительности синоптическим (2–10 сут). Этот период проявляется четче на станциях северной части акватории (вследствие большой зависимости от режима моря), слабее — в южной половине, практически исчезает на замыкающем створе. Выявленный ритм также жизненно важен для водных экосистем как сезонный ход гидрометеорологических элементов. С одной стороны, как уже отмечалось, он активизирует энергомассообмен и увеличивает биологическую продуктивность экосистемы. С другой стороны, способствует созданию экстремальных ситуаций, при которых могут наблюдаться условия, губительные для отдельных организмов или всей популяции. Это необходимо учитывать при планировании водохозяйственных мероприятий, искажающих характеристики речного стока и вызывающих усиление влияния моря.

На данном этапе исследований сложились достаточно четкие представления о диапазонах изменчивости гидрометеорологических элементов в различных временных масштабах.

Анализ материалов наблюдений за уровнем и течениями в устьевой области показал, что на устьевых участках рек их режим определяется в основном стоком воды, в то время как в Обской и Тазовской губах — анемобарическими условиями и приливными явлениями.

Наибольшие скорости течения в дельте наблюдаются в период весеннего половодья и достигают более 1 м/с. Несмотря на то, что в суммарных течениях наибольшее значение имеют течения, связанные со сгонно-нагонными и приливными течениями, суммарные течения направлены в сторону моря и характеризуются скоростями от 1–3 см/с зимой до 6–8 см/с летом.

Для устьевой области Оби характерно, что южная часть Обской губы и вся Тазовская губа в течение всего года заполнены пресными речными водами.

В летний период зона смещения морских и речных вод в Обской губе располагается в ее северной части между м. Тамбей и о-вом Белым, существенно меняя свое положение в зависимости от величины стока и гидрометеорологических условий. По данным экспедиционных наблюдений и расчетов, экстремальной границей проникновения морских вод в губу можно считать 69° с.ш.

Гидрохимический режим является важнейшим элементом экологической системы устьевой области Оби, от которого во многом зависят количественные и качественные характеристики сообществ. Если гидрологический режим определяет физические характеристики среды обитания, то гидрохимический режим формирует ее химический состав, с которым тесным образом связана жизнь гидробионтов на всех уровнях трофической цепи.

Основные характеристики химического состояния вод Обской губы, которые в первую очередь определяют их биопродуктивность, по своей природе могут быть разделены на две большие группы.

1. Естественные гидрохимические показатели среды, определяющие качество вод, а следовательно, и состав гидробионтов.

2. Искусственно вносимые в водоем химические вещества, в основном являющимися загрязнителями вод и ухудшающими условия обитания гидробионтов.

Из первой группы для рассматриваемого региона, важнейшие: 1) солевой состав (хлоридные, сульфатные, гидрокарбонатные и карбонатные анионы, а также катионы натрия, калия, магния и кальция), 2) растворенный кислород, 3) концентрация водородных ионов (рН) и 4) биогенные элементы (минеральные соединения фосфора, азота, кремния).

Элементы основного солевого состава в зависимости от их соотношений определяют класс природных вод, а следовательно, и степень их пригодности для промышленного и бытового использования. Количественное содержание их обычно превосходит в природных водах все остальные составляющие химического состава, и именно они определяют пригодность среды обитания для тех или иных видов живых организмов на всех уровнях трофической цепи. Для морских вод характерно постоянство солевого состава,

а для речных — его значительные изменения по длине реки в зависимости от физико-географических и климатических особенностей водосбора.

Солевой состав устьевых областей может изменяться в очень широком диапазоне, так как он определяется взаимодействием карбонатных пресных речных вод с морскими, в которых преобладают хлоридные ионы. При этом пространственное положение того или иного класса вод будет находиться в прямой связи с интенсивностью и объемом поступающих в устьевую область речных вод, а также проникновением с севера морских вод при нагонах.

Одним из важнейших критериев качества вод для нормального обитания в них живых организмов является содержание в этих водах растворенного кислорода. За нижнюю границу заморного состояния водоема принимают количество кислорода в воде, равное 2,5 мг/л. Однако для большинства ценных пород рыб, обитающих в Обской губе, угнетенное состояние начинается при содержании кислорода 4,5–7,0 мг/л. Одна из характерных особенностей гидрохимического режима низовьев и устьевой области Оби заключается в ежегодно наблюдаемых в зимнее время заморных явлениях, связанных с возникновением резкого дефицита кислорода в воде. Поэтому контроль за содержанием кислорода и за возможными его изменениями при изъятии части стока имеют для этого региона особо важное значение.

По имеющимся данным, именно определенное содержание растворенного в воде кислорода является тем пусковым механизмом, по наличию которого начинается массовая миграция наиболее ценных пород полупроходных рыб из моря, где они обитают зимой, в устьевую область и р. Обь, в места размножения и откармливания в летний период. Точно так же в осенний период уменьшение содержания кислорода до определенного уровня служит сигналом массового ухода сиговых и лососевых из устьевой области в море.

Изменение рН среды влияет на выживаемость организмов, интенсивность питания, степень усвоения корма, рост, газообмен в организме и другие жизненные процессы. При этом большинство водных организмов способно переносить лишь небольшой диапазон изменений рН, который не должен выходить за пределы 6,5–8,5.

Концентрация водородных ионов в воде прямо влияет на энергетический баланс на клеточном уровне, поэтому на ее изменения чутко реагируют члены сообщества на всех уровнях трофической цепи.

С содержанием биогенных элементов тесно связана деятельность первичных продуцентов органического вещества — одноклеточных и многоклеточных организмов, которые поглощают их в процессе фотосинтеза. Биогенные элементы — это основные стимуляторы роста фитопланктона: количество популяций и объем первичной биопродукции очень чутко реагируют на изменение содержания таких веществ в воде. Дефицит биогенных элементов сдерживает темпы роста фитопланктона, при этом баланс нарушается в сторону уменьшения его биомассы за счет снижения темпов деления и уменьшения размеров особей.

Для распределения биогенных элементов в Обской губе типично отсутствие их дефицита в периоды даже наибольшей биологической активности фитопланктона. Это связано с наличием мощного источника постоянного возобновления их запасов, которым являются речные воды. В связи с этим

для этого региона биогены не могут быть лимитирующим фактором, а их постоянно пополняющийся запас обеспечивает очень высокую биопродуктивность первичного органического вещества, а следовательно, и всего биоценоза. Другая особенность — высокая экологическая значимость растворенного кремния, обеспечивающего развитие самого массового в этом районе продуцента первичного органического вещества — диатомового фитопланктона.

Его внутригодовое распределение в этих районах определяется в основном биологическим циклом. Так, в районе замыкающего створа (г. Салехард) минимуму содержания растворенного кремния в июле—августе соответствует максимум биомассы, а окончание вегетационного периода в октябре сопровождается началом быстрого возрастания его концентраций за счет регенерации отмирающего фитопланктона. Причем, содержание кремния к концу зимы может достигать 10,0 мгл, так как в этом районе в течение всей зимы происходит восстановление кремния из остатков диатомей, сносимых из района средней и нижней Оби.

Из второй группы веществ — загрязнителей, характерных для региона, важнейшими являются нефть и нефтепродукты, фенолы, ксантогенаты, лигнин, сернистые органические вещества и тяжелые металлы (железо, цинк, медь и др.). Так, в пределах Обь-Иртышского бассейна большинство предприятий, сбрасывающих свои сточные воды в водоемы, относятся к горнорудной, металлургической, химической, целлюлозно-бумажной, гидролизной, деревообрабатывающей, лесохимической и нефтяной промышленности. Сточные воды, поступая в водоемы, создают неблагоприятные условия для рыб и других водных организмов. При этом изменяется водородный показатель воды (рН), нарушается газовый баланс, накапливаются соединения азота, серы, фосфора, окислы и соли металлов, различные трудногидролизуемые органические вещества. Кроме того, большинство загрязняющих веществ сами по себе токсичны для большинства гидробионтов и оказывают угнетающее действие на многие их функции.

В последние годы в связи с увеличением объема загрязнений нефтяного происхождения возникла экологическая проблема, связанная с возможной перестройкой пищевых цепей в Обской губе на уровне продуцирования первичного органического вещества, служащего энергетическим фундаментом для построения всей продукционной системы. В отличие от арктических морей и особенно Арктического бассейна, где производство органического вещества микрофлорой незначительно, в Обской губе органическое вещество образуется и за счет фотосинтеза и за счет хемосинтеза его бактериальными клетками. Значимость каждого из этих процессов для Обской губы не выявлена. Однако исследования микрофлоры, способной активно участвовать в самоочищении ее вод от нефтяных загрязнений, показали наличие значительного числа микроорганизмов, способных давать значительную первичную биомассу в условиях антропогенного загрязнения водной среды. Увеличение доли первичного органического вещества, производимого микрофлорой на основе потребления углеводорода нефтяного происхождения и других загрязняющих веществ (бытовых отходов, канализационных сбросов и т.п.), может привести к труднопредсказуемым

последствиям для гидробионтов на более высоких уровнях трофической цепи. Не следует забывать также возможные санитарно-гигиенические последствия этого явления.

Анализ роли гидрометеорологических и гидрохимических факторов в формировании устьевых экосистем Севера, выполненный на качественном уровне, позволяет получить только общее представление об условиях существования водных экосистем.

Следующим этапом исследований должна быть количественная оценка вклада факторов гидрологического, метеорологического и гидрохимического режимов в формирование этих условий. Особенно важно количественное описание экстремальных для водных экосистем ситуаций. Несмотря на широкий диапазон толерантности, организмы, обитающие в устьевых областях крупных рек Севера, очень ранимы на разных стадиях своего созревания. С нашей точки зрения единственно верным путем количественного представления взаимосвязей между гидрометеорологическими и гидрохимическими факторами с одной стороны и характеристиками состояния организмов в устьевой области, является системный подход. Кроме того, следует отметить, что получение необходимых характеристик гидрометеорологического и гидрохимического режимов для оценок состояния экосистем сдерживается не отсутствием развитых методов расчета и моделирования, а недостаточно четкой формулировкой требований к получению этих характеристик со стороны специалистов, занятых изучением водных биocenozов.

Литература

- Баранов И.В. Ожидаемый гидрохимический режим Нижне-Обского водохранилища и Обской губы. — В кн.: Гидростроительство и рыбное хозяйство в Нижней Оби. Тюмень, 1966, с. 32–55.
- Васильев А.Н. Взаимодействие речных и морских вод в Обской устьевой области — Тр. ААНИИ, 1976, т. 314, с. 183–192.
- Иванов В.В. Гидрологический режим низовьев и устьев рек Западной Сибири и проблема оценки его изменения под влиянием территориального перераспределения водных ресурсов. — В кн.: Проблема Арктики и Антарктики. М., 1980, с. 20–43 (Тр. ААНИИ; Вып. 55).
- Одум Г. Общая экология. М., 1972. 450 с.

Содержание

Предисловие	5
Основные направления научных исследований в Арктике на современном этапе освоения ее природных ресурсов (А.Ф. Трешников)	7
Географические границы действия экологических систем в Арктике (Е.С. Короткевич)	11
Критерии устойчивости почвенно-грунтового комплекса Субарктики (П.Ф. Швецов)	17
Вечная мерзлота как важный элемент полярной экосистемы (П.И. Мельников, Н.А. Граве)	20
Ледники в экосистемах полярных областей: два сценария предстоящих изменений (М.Г. Гросвальд, В.М. Котляков)	28
Растительный покров полярной безлесной области: проблема изучения и охраны (Б.А. Юрцев)	34
Некоторые теоретические и прикладные вопросы адаптации человека в высоких широтах (Л.Е. Панин)	45
Современные проблемы охраны биосферы на Кольском Севере (В.В. Крючков)	59
Современные проблемы биологии Центрального Арктического бассейна (И.А. Мельников)	71
Основные эколого-абиотические факторы Северного Ледовитого океана (В.П. Русанов)	80
Происхождение и некоторые закономерности распределения экосистем верхних отделов шельфа Северного Ледовитого океана (А.Н. Голиков, В.Г. Аверинцев, О.А. Скарлато)	91
Роль гидрометеорологических и гидрохимических факторов в формировании устьевых экосистем Севера (на примере устьевой области р. Оби) (В.В. Иванов, В.П. Русанов, Г.Н. Сузюмова, В.А. Янкина)	96

Основные направления научных исследований в Арктике на современном этапе освоения ее природных ресурсов. Трешников А.Ф. — В кн.: Проблемы экологии полярных областей. М.: Наука, 1983.

За последнее десятилетие советскими учеными выполнен обширный комплекс исследований, направленных на изучение природных условий и ресурсов северной полярной области. Выявлены общие закономерности и вскрыты причины, обуславливающие изменение природных условий Арктики и гидрометеорологического режима Северного Ледовитого океана.

Намечены основные направления научных исследований в Арктических районах, направленные в первую очередь на получение данных для разработки прогноза возможных изменений окружающей среды, научное обоснование проектных решений и народохозяйственных мероприятий.

Географические границы действия экологических систем в Арктике. Коротков Е.С. — В кн.: Проблемы экологии полярных областей. М.: Наука, 1983.

Основные экологические системы в Арктике совпадают с географическими (природными) зонами. За южную границу Арктики (холодного пояса) нами принимается южная граница переходной от тундры к лесу подзоны лесотундры, которая включается в арктическую экологическую систему. В этой подзоне перемежаются участки тундровых экологических систем с лесными.

Холодный пояс делится на две зоны: тундровую и полярных пустынь. Первая делится на подзоны: лесотундры, кустарниковой (южной) тундры, типичной (северной) тундры и арктической тундры. Вторая представлена в Арктике только одной южной подзоной.

На южной границе холодного пояса происходит весьма существенное изменение экологических условий вследствие смены лесных ландшафтов безлесными. Внутри холодного пояса таких резких границ нет. Тем не менее условия существования организмов, в том числе и человека по мере продвижения к северу становятся все более суровыми и на крайних северных островах приближаются к предельным.

Критерии устойчивости почвенно-грунтового комплекса Субарктики. Швец П.Ф. — В кн.: Проблемы экологии полярных стран. М.: Наука, 1983.

Определение устойчивости сезонноталого слоя (СТС) и подстилающей его толщи всегда мерзлых пород (ТВМП) с переменными в году температурами — сложная и до сих пор нерешенная физико-геологическая задача. Сложность ее обусловлена взаимосвязью тепловой и механической форм движения, вызванного интенсивными и более продолжительными, чем годовой период, внешними воздействиями. Большое практическое значение этой задачи очевидно: почвенно-грунтовой комплекс (ПКК) — литогенная основа ландшафта (биогеоценоза), основание и среда многих сооружений.

Многочисленные стационарные наблюдения и термодинамический анализ полученных факторов показали, что низкотемпературный ПГК с наибольшим запасом холода (льдистый) и тонким СТС неустойчив как по состоянию, так и по положению в пространстве (даже на пологих склонах). Неустойчивость ПГК обусловлена значительными приращениями весенне-летних теплоприходов, толщины СТС и температуры ТВМП на глубинах до 5 м в течение нескольких годовых периодов. Большое изменение глубины сезонного протаяния ПГК в течение пяти-шестилетних годовых периодов отражается, видимо, на развитии растений.

Библиогр. 4 назв.

Вечная мерзлота как важный элемент полярной экосистемы. М е л ь н и к о в П.И., Г р а в е Н.А. — В кн.: Проблемы экологии полярных стран. М.: Наука, 1983.

При хозяйственном освоении Севера нарушается тепловой баланс поверхности территории, развиваются термокары, термоабразия, солифлюкция, пучение и морозобойное растрескивание грунта и другие криогенные процессы, вызывающие изменения природных ландшафтов и неустойчивость возводимых человеком сооружений. Поэтому основным вопросом геоэкологии в проблеме охраны среды и рационального землепользования является устойчивость поверхности осваиваемых территорий к техногенным (антропогенным) воздействиям при их освоении.

Приводятся некоторые примеры техногенного изменения ландшафтов Севера в результате разрушения растительного, почвенного покровов, грунтов и гидрологического режима.

Кратко освещаются состояние изученности данного вопроса в СССР, США и Канаде и мероприятия, применяемые в этих странах в целях рационализации землепользования.

Намечается перспектива развития геоэкологических исследований по проблеме охраны среды и рационального землепользования.

Табл. 2. Библиогр. 20 назв.

Ледники в экосистемах полярных областей. Г р о с в а л ь д М.Г., К о т л я к о в В.М. — В кн.: Проблемы экологии полярных стран. М.: Наука, 1983.

Рассматривается роль ледников в полярных областях Земли, как важнейшего элемента подстилающей поверхности. Перспективы прогноза изменений полярных ледников на ближайшие десятилетия в условиях возможных изменений климата под воздействием антропогенных факторов. Обсуждаются основные теоретические модели возможных изменений, предсказываемые советскими климатологами. Рассматривается роль различных природных факторов, которые могут привести к тому, что даже похолодание, длящееся несколько десятилетий, может послужить триггером трудно обратимым процессом разрастания ледников, морских льдов, снежного покрова. Особенно ощутимы при этом будут неблагоприятные условия для арктических экосистем и освоения природных ресурсов северных территорий.

В целом при прогнозе изменений оледенения Арктики и Антарктики необходимо учитывать, что это оледенение значительно менее устойчиво, чем оледенение низких и средних широт и способно на гораздо более быстрые изменения, чем это представлялось еще несколько лет назад.

Библиогр. 18 назв.

Растительный покров полярной безлесной области: Перспективы изучения и охраны. Ю р ц е в Б.А. — В кн.: Проблемы экологии полярных стран. М.: Наука, 1983.

Растительный покров — автотрофный блок (подсистема) полярных экосистем, выполняющий функции ввода в экосистему энергии физиологически активной солнечной радиации и первичного синтеза органических соединений из неорганических.

В связи с ускорением темпов хозяйственного освоения Севера необходимо добиться опережающего темпа исследований растительного покрова и экосистем полярной безлесной области, учитывая их повышенную ранимость, резко недостаточную изученность и объективные трудности проведения исследований в условиях Крайнего Севера; наряду с фундаментальными исследованиями необходимо специальное изучение воздействия на тундровый покров различных форм хозяйственной деятельности, закономерностей сукцессий растительности в местах нарушений, пределов устойчивости покрова;

особую новую для Севера проблему представляет охрана редких реликтовых растений и сообществ. В фундаментальном и прикладном изучении экосистем и их растительных компонентов требуется согласованная система исследовательских программ разной интенсивности, обеспечивающих охват всего объекта в его географическом и экологическом многообразии; необходима единая представительная сеть пунктов детальных исследований и охраняемых территорий, как основа для исследования экосистемы мониторинга.

Библиогр. 21 назв.

УДК 613.1 (98) (99)

Некоторые теоретические и прикладные вопросы адаптации человека в высоких широтах. П а н и н Л.Е. — В кн.: Проблемы экологии полярных стран. М.: Наука, 1983.

При адаптации человека к комплексу климато-географических факторов высоких широт отмечается изменение всех видов обмена: белков, жиров, углеводов, витаминов, макро- и микроэлементов. Формируется полярный метаболический тип. Организм переходит на новый уровень гомеостаза. Изменяется химический состав внутренней среды организма. Понятие "здоровье" человека в высоких широтах оказывается отличным от аналогичного понятия в средних или южных широтах. Необходима разработка "норм" состояния внутренней среды и здоровья человека для различных климато-географических регионов.

Перестройка обмена веществ тесно связана с изменением эндокринной регуляции. Она характеризуется некоторым повышением в крови содержания катехоламинов и глюкокортикоидов, метаболический эффект которых усиливается в связи с развитием функционального диабета. Снижение содержания инсулина в крови является целесообразной реакцией организма и свидетельствует о переходе его на новый уровень регуляции.

Табл. 6. Библиогр. 9 назв.

УДК 502.7 (98)

Современные проблемы охраны биосферы на Крайнем Севере. К р ю ч к о в В.В. — В кн.: Проблемы экологии полярных областей. М.: Наука, 1983.

Крайний Север занимает 50% территории страны, здесь находятся 80–100% полезных ископаемых и менее 3% населения. Это значит, что горнодобывающая и перерабатывающие отрасли промышленности все более перемещаются в северные районы. Необходимо продолжить обобщение опыта освоения Севера в целях выработки рекомендаций по рациональному использованию природных ресурсов и сохранению экологического равновесия. Неотложными проблемами являются следующие:

- стабилизация полярной границы лесов и сохранение площади лесотундровых и северотаежных лесов.
- сохранение мохово-лишайникового покрова, который подвергается сильному антропогенному воздействию.
- создание сети охраняемых природных объектов: заповедников, заказников, защитных лесных полос вокруг водоемов, населенных пунктов, вдоль дорог, национальных парков и т.д.
- сохранение литогенной основы и прежде всего вечноммерзлых грунтов, которые разрушаются в процессе хозяйственного освоения Севера.

Эти мероприятия помогут создать экологическую инфраструктуру и предотвратят деградацию природных систем.

Табл. 1

УДК 551.326 (268)

Современные проблемы биологии Центрального Арктического бассейна. Мельников И.А. — В кн.: Проблемы экологии полярных областей. М.: Наука, 1983.

Дрейфующий лед является одним из важнейших элементов пелагиали Центрального Арктического бассейна. В настоящее время хорошо изучены физические и механические свойства льда, однако изучению его биологии до сих пор уделялось недостаточно внимания.

На основании данных, полученных в последние годы на дрейфующих станциях СП-22, 23 и 24 снежно-ледяной покров рассматривается как устойчивая экологическая система открытого типа.

Изучение биологии многолетних льдов, их состава, структуры и функциональных связей между элементами в экосистеме способствует более глубокому пониманию процессов, обуславливающих формирование и дальнейшее развитие снежно-ледяного покрова Центрального Арктического бассейна, дает возможность оценить диапазон последствий, вызываемых воздействием современных загрязнений, а на их основании дать прогноз поведения экосистемы дрейфующего льда в условиях современного промышленного освоения Крайнего Севера.

Библиогр. 50 назв.

УДК 551.46 (268)

Основные эколого-абиотические факторы Северного Ледовитого океана. Русаков В.П. — В кн.: Проблемы экологии полярных областей. М.: Наука, 1983.

В ближайшие годы в хозяйственный оборот будут вовлекаться огромные территории Арктики и Субарктики в связи с разведкой и эксплуатацией месторождений полезных ископаемых, в том числе и на акватории Северного Ледовитого океана.

На современном этапе интенсивного хозяйственного освоения Арктики необходимо оценивать полярные экосистемы как единое целое — среду обитания с присущими ей физическими, химическими и другими характеристиками и характерным для нее биоценозом.

В связи с этими задачами рассматриваются основные экологические факторы Северного Ледовитого океана, роль каждого из них в экосистеме, состояние современной изученности и их возможные изменения под влиянием антропогенных нагрузок.

Анализируются сложившиеся прямые и обратные связи между элементами биотопа и биоценоза Северного Ледовитого океана на современном этапе изученности и хозяйственного освоения его акватории.

Библиогр. 11 назв.

УДК 577.47 (268)

Экосистемы верхних отделов шельфа Северного Ледовитого океана. Происхождение и некоторые закономерности распределения. Скарлато О.А., Голиков А.Н., Аверинцев В.Г. — В кн.: Проблемы экологии полярных стран. М.: Наука, 1983.

Исследование фауны Арктики представляет первостепенный интерес не только для ее практического освоения, но и в первую очередь для понимания эволюции морской биоты и общих закономерностей распределения живого вещества в Мировом океане. Это связано с тем, что арктические экосистемы оказываются относительно наиболее молодыми среди морских экосистем, а составляющие их виды могли произойти не ранее конца плиоцена и в плейстоцене.

Арктические акватории существенно отличаются по гидрологическому режиму, геологической структуре донных отложений и составу биоценозов.

Подробно рассматривается состав биоценозов шельфа Земли Франца-Иосифа, Новосибирских островов, западной части Чукотского моря и о-ва Врангель, что позволяет сделать вывод о закономерном снижении биомасс в Арктическом бассейне с запада на восток и свидетельствует о решающей роли в количественном развитии жизни североатлантических вод, несущих биогены и взвешенные и растворимое органическое вещество, продуцирующееся в изобилии в умеренных широтах.

Подробные исследования позволяют выявить, что является специфичным для каждого региона, а что свойственно экосистемам холодных вод, а также обнаружить новые источники живого белка и витаминов в Арктике, оценить биоресурсы и биопродуктивность осваиваемых регионов.

Библиогр. 11 назв.

УДК 511:52(98)

Роль гидрометеорологических и гидрохимических факторов в формировании устьевых экосистем Севера. Иванов В.В., Русанов В.П., Сузюмов А.Г., Янкина В.А. — В кн.: Проблемы экологии полярных стран. М.: Наука, 1983.

Устьевые области северных и сибирских рек являются уникальными физико-географическими объектами, которые характеризуют взаимодействие и смешение пресных речных вод с морскими, и в пределах которых формируются локальные экосистемы.

В последнее время все большее влияние на природные условия устьевых областей рек оказывает хозяйственная деятельность человека как в бассейнах рек, так и непосредственно в их устьевых районах, что требует комплексной оценки возможных изменений природных условий в этих районах.

Для определения изменения состояния устьевых экосистем Севера на примере Обской устьевой области дается оценка значимости элементов гидрометеорологического и гидрохимического режимов как экологического фактора среды обитания. Имея эти данные, а также прогноз их изменения под влиянием антропогенных воздействий, получаем реальную основу для прогноза состояния устьевых экосистем Севера в будущем, а также для разработки мероприятий по охране и рациональному использованию ресурсов этих природных объектов.

Библиогр. 4 назв.

ПРОБЛЕМЫ ЭКОЛОГИИ ПОЛЯРНЫХ ОБЛАСТЕЙ

*Утверждено к печати
Научным советом по проблемам
биосферы АН СССР*

Редактор издательства *О.М. Ванюкова*
Художественный редактор *М.В. Версоцкая*
Технический редактор *О.В. Аредова*
Корректор *О.А. Пахомова*

ИБ № 27160

Подписано к печати 19.10.83. Т — 16476
Формат 60х90 1/16. Бумага для глубокой печати
Печать офсетная. Усл.печ.л. 7,0
Усл. кр.-отт. 7,3. Уч.-изд. л. 8,2
Тираж 750 экз. Тип. зак. 757
Цена 1р. 20к.

Издательство "Наука", 117864 ГСП-7
Москва, В-485, Профсоюзная ул., д. 90

Ордена Трудового Красного Знамени
1-я типография издательства "Наука"
199034, Ленинград, В-34, 9-я линия, 12

В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ "НАУКА"

вышли из печати книги:

Кузнецова Л.П. Атмосферный влагооборот над территорией СССР.

13 л. 2 р.

В монографии рассматриваются закономерности атмосферного влагообмена над территорией СССР (источники атмосферной влаги, содержание и горизонтальный перенос влаги в атмосфере, влагообмен между различными территориями и другие характеристики), влияние на него крупных водохозяйственных мероприятий, а также возможности и преимущества совместного рассмотрения водных балансов атмосферы и речных бассейнов (регионов) для анализа формирования их водных режимов и уточнения количественных оценок водного баланса подстилающей поверхности.

Для климатологов, гидрометеорологов и гидрологов, специалистов в области мелиорации и водного хозяйства.

Антарктика, вып. 22

20 л. 3 р.

В сборнике приводится статья А.Ф. Трешникова, посвященная итогам советских исследований в Антарктике за 25 лет. Определены перспективы дальнейших исследований. В ряде статей освещаются результаты исследований в области геофизики, метеорологии, гляциологии, биологии вод Южного океана и водоемов оазиса Ширмахера. Одна статья посвящена медицинским исследованиям.

Для специалистов, занимающихся изучением Антарктики.

Исследования ледяного покрова северо-западных морей

10 л. 1р. 50к.

Статьи сборника отражают результаты экспериментальных и теоретических исследований ледяного покрова и его влияния на биологические процессы в море. Некоторые статьи посвящены разработке новых методов расчетов, направленных на обеспечение ледовой информацией и прогнозами мореплавания, рыбного промысла, поисковых геолого-разведочных работ.

Для специалистов по ледоведению и гидрометеорологии, преподавателей, аспирантов и студентов.

Устойчивость геосистем

7 л. 1р. 10к.

В сборнике рассматриваются вопросы устойчивости природных систем. Дается краткий обзор существующих представлений об устойчивости в географии и экологии, разбираются механизмы, определяющие устойчивость геосистем, вопросы математического изучения устойчивости на моделях, районирования территории по устойчивости к антропогенным воздействиям.

Для научных работников, преподавателей высших учебных заведений и студентов географического, биологического и сельскохозяйственного профиля.

Заказы просим направлять по одному из перечисленных адресов магазинов "Книга-почтой" "Академкнига":

480091 Алма-Ата, 91, ул. Фурманова, 91/97; 370005 Баку, 5, ул. Джапаридзе, 13; 320093 Днепропетровск, проспект Ю. Гагарина, 24; 734001 Душанбе, проспект Ленина, 95; 252030 Киев, ул. Пирогова, 4; 277012 Кишинев, проспект Ленина, 148; 443002 Куйбышев, проспект Ленина, 2; 197345 Ленинград, Петрозаводская ул., 7; 220012 Минск, Ленинский проспект, 72; 117192 Москва, В-192, Мичуринский проспект, 12; 630090 Новосибирск, Академгородок, Морской проспект, 22; 620151 Свердловск, ул. Мамина-Сибиряка, 137; 700187 Ташкент, ул. Дружбы народов, 6; 450059 Уфа, 59, ул. Р. Зорге, 10; 720001 Фрунзе, бульвар Дзержинского, 42; 310078 Харьков, ул. Чернышевского, 87.

1 р. 20 к.

4031

Современные проблемы биосферы

В издательстве "Наука" готовится к изданию:

Вулканические пояса
Востока Азии

55 л. 8 р. 80 к.

Для получения книг почтой
заказы просим направлять по адресу:
117192 Москва, В-192, Мичуринский проспект, 12
магазин "Книга—почтой"
Центральной конторы "Академкнига"